



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ÁLAMO
TEMAPACHE**

TITULACIÓN

TESIS PROFESIONAL

*“MORFOMETRÍA EN LA SECCIÓN AZOLVADA DEL CANAL DE
TUMILCO (SITIO RAMSAR 1602 TUXPAN) Y ACCIONES PARA
REHABILITAR LA NAVEGACIÓN”.*

PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA

JOEL MAYA DEL ANGEL
CRISTINA LIZETH SÁNCHEZ BADILLO

DIRECTOR DE TESIS

M.C FERNANDO SOTELO GINER

CO- DIRECTOR DE TESIS

ING. ANA MARÍA ROSALES ARIGUZNAGA

DEDICATORIA

Cristina Lizeth Sánchez Badillo:

Agradezco al Instituto tecnológico superior de Álamo Temapache, a mis profesores por los conocimientos brindados en el transcurso de mi formación académica.

A las personas que hicieron posible la realización del presente trabajo; nuestro asesor el Hidro-Biólogo Fernando Sotelo Giner por sus consejos y enseñanzas compartidos y a la CONANP por abrirnos las puertas para la realización de nuestras residencias profesionales.

A Dios y a mis padres Isabel Badillo Moreno y Eulalio Sánchez Marcos gracias por estar siempre presentes y ser un apoyo en mi vida y estudios.

A mis familiares y amigos Wendy, Miriam, Carlos Antonio y Joel Maya por su acompañamiento y ayuda brindada, gracias.

Joel Maya del Ángel:

Gracias a Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y me ha dado fuerzas para continuar en este largo proceso de mi carrera profesional.

A mis padres Fidel Maya Cruz, que, aunque está en el cielo, sé que se siente orgullo de mí, y Sofía que siempre ha estado presente y me ha apoyado.

A Mis hermanos Elizabeth, Fidel, Regina y Magdalena que de una manera u otra manera siempre me apoyaron cuando más lo necesite.

A ti, Cristina Lizeth Sánchez Badillo que siempre estuviste acompañándome en todo momento de la carrera y sobre todo a la dedicación al desarrollar este proyecto.

A todos mis amigos y amigas que siempre me apoyaron en el transcurso de nuestros estudios, gracias por su sinceridad y confianza.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache por ayudarnos a formarnos como ingenieros ambientales.

Al M.C Fernando Sotelo Giner por su acompañamiento, sus enseñanzas y conocimientos compartidos, así como el soporte concedido para realizar los trabajos en campo y procesamiento de datos.

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) APFF SALT por el apoyo brindado para que este trabajo se llevará a cabo, proporcionando los recursos necesarios.

A la Q. Biol. Blanca Mónica Zapata Nájera directora del APFF sistema arrecifal lobos Tuxpan y al Biólogo Justin Iván Sánchez Serda por abrirnos las puertas de la CONANP para la realización de las prácticas profesionales.

A la Ing. Ana María Rosales Ariguznaga por sus aportaciones y mejoras para la realización de este proyecto...

A mi comisión revisora formada por el Dr. Miguel Ángel López Velásquez y el Dr. Cornelio de la Cruz Guerra por sus observaciones e ideas las cuales ayudaron a mejorar el trabajo profesional.

RESUMEN

A fin de determinar el estado actual del Estero-canal de Tumilco se realizó un estudio de la morfometría en la sección azolvada del canal por medio del perfil transversal, y adicionalmente se tomaron medidas de la profundidad, textura del suelo y parámetros fisicoquímicos del agua superficial los cuales se determinaron de manera in situ los datos de turbidez, temperatura (°C), pH, oxígeno disuelto (OD) (mg/L), salinidad (ups) conductividad eléctrica (CE) (mS/cm), sólidos disueltos totales (SDT) (ppt), durante los meses de septiembre y noviembre de 2021. Partiendo de los datos del diagnóstico sobre el estado actual del canal de Tumilco, se elaboró una propuesta técnica para la rehabilitación de la navegación. Para las acciones de la rehabilitación del canal, se propone el dragado manual en la parte azolvada y una poda controlada para disminuir la obstrucción vegetativa arbórea. además, se sugiere la implementación de infraestructura de atraque, estancia y para los prestadores de servicio.

ABSTRACT

In order to determine the current state of the Tumilco Estuary-canal, a study of the morphometry was carried out in the silt section of the canal by means of the cross-sectional profile, and additionally measurements of depth, soil texture and physicochemical parameters of surface water were taken. which data on turbidity, temperature (°C), pH, dissolved oxygen (DO) (mg/L), salinity (ups) electrical conductivity (CE) (mS/cm), total dissolved solids were determined in situ (TDS) (ppt), during the months of September and November 2021. Based on the diagnostic data on the current state of the Tumilco channel, a technical proposal was prepared for the rehabilitation of navigation. For the rehabilitation actions of the channel, manual dredging is proposed in the silt area and controlled pruning to reduce the tree vegetative obstruction. In addition, the implementation of docking infrastructure, stay and for service providers is suggested.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	
Agradecimientos	
Resumen	
Abstract	
Índice temático	
Índice de figuras	
Índice de tablas	
Capítulo I. Generalidades del proyecto	5
1.1 11.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo el estudiante	6
1.3 Problemática	7
1.4 Objetivos	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos específicos	9
1.5 Justificación	10
Capítulo I. Marco teórico	11
1.1	11Capítulo III. Desarrollo
	14
3.1 Área de Estudio	14
3.2 Material y Métodos	15
Capítulo IV. Resultados	20
CONCLUSIÓN	31
Competencias desarrolladas	32
Bibliografía	33
Figura 1. Área de estudio del Estero-canal de Tumilco.	16
Figura 2. Zona de muestreo del suelo en el Estero-canal de Tumilco.	18
Figura 3. Perfil transversal de la estación 5 en el Estero-canal de Tumilco.	20

Figura 4. Perfil transversal en la estación 6 en el Estero-canal de Tumilco.	21
Figura 5. Turbidez (m) media del Estero-canal de Tumilco por fecha y estación.	23
Figura 6. Temperatura media del Estero-canal de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura (m).	24
Figura 7. pH media del agua en el Estero de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura (m).	25
Figura 8. Potencial Óxido Reducción media del Estero de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura.	26
Figura 9. Media de OD (mg/l) en el Estero de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura.	27
Figura 10. Media Conductividad eléctrica del Estero-canal de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura.	28
Figura 11. Media Salinidad del Estero-canal de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura.	29
Figura 12. Media Sólidos disueltos totales del Estero-canal de Tumilco por fecha ,estación y profundidad de lectura.	30
Cuadro 1. Textura y color del suelo del Estero-canal de Tumilco.	22
Cuadro 2. Propiedades del suelo del Estero-canal de Tumilco.	22

1. INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas complejos que actúan como interface entre los hábitats terrestres y los acuáticos, fungen como zonas de desove, desarrollo y reclutamiento de invertebrados y peces, zonas de anidación para aves y ofrecen servicios ambientales como el control de la erosión costera e inundaciones, la producción de recursos pesqueros, y además como atractivo turístico (Moreno-Casasola *et al.*, 2010).

Al suroeste de Tumulco se encuentra una zona arqueológica conocida por los pobladores como las ruinas de Tumulco los cuales ha encontrado restos artesanales. En esta área se encuentra una pared de piedra natural con condiciones para practicar rappel. Los atractivos turísticos identificados son:

- En manera general belleza escénica
- Manglar en buen estado de conservación de 4 especies (R. mangle, A. germinans, L. racemosa, C. erectus)
- Diversidad de aves residentes y migratorias
- Mamíferos (mapaches) y reptiles (cocodrilo e iguana verde)
- Estero navegable
- Pared de piedra natural

Dentro de los humedales están los manglares, que son formaciones vegetales en las que predominan distintas especies conocidas como mangle, un árbol o arbusto con ramas descendentes que llegan al suelo y arraigan en él, y tienen la particularidad de ser plantas resistentes a la salinidad del agua (CONABIO, 2009). En el ejido cerro de Tumulco el manglar es utilizado por los habitantes para leña, seguido de actividades de pesca y cercado (Basáñez *et al.*, 2006).

El estero de Tumulco se encuentra ubicado en el municipio de Tuxpan Veracruz, forma parte del sitio Ramsar 1602 junto a la laguna de Tampamachoco, en el ejido El cerro de Tumulco los habitantes llevan a cabo actividades ecoturísticas entre las que destacan los paseos a caballo y observación de aves.

En la última década el canal ha presentado una rápida obstrucción debido al crecimiento vegetativo y azolve, lo que dio como resultado la pérdida parcial de la navegación, esto

representa un gran problema para la comunidad, que carece de una vía de comunicación, en especial con las lluvias torrenciales propias del verano queda desprovista del camino para salir del ejido. El presente estudio pretende generar información acerca del estado actual del canal con la finalidad de generar una propuesta para su rehabilitación y brindar una vía de acceso y salida en caso de inundarse el camino de la terracería.

1.1. Antecedentes

Morfometría de cuencas

Los estudios morfométricos de cuencas datan desde el año de 1932 con “Drainage basin characteristics” por el Padre de la hidrología moderna Robert Ermer Horton. Posteriormente en el año de 1952 Arthur Newell Strahler modificó el sistema para la red de drenaje propuesto por Horton, en donde clasificó el orden del cauce de acuerdo a la jerarquía y potencia de sus niveles (Santander, 2014).

En la actualidad los factores que pueden utilizarse para la determinación de la morfometría son la forma de la cuenca, la red de drenaje, área, perímetro, cauce, parámetros de relieve y la pendiente media.

Azolve en sistemas estuarinos

Los sistemas estuarinos se caracterizan por ser áreas someras que se mezclan gradualmente con las aguas oceánicas, determinándose en estos grandes gradientes de salinidad, temperatura y densidad. Debido a los aportes de agua de mar estos ecosistemas son unos de los más productivos del mundo y cumplen un rol de reproducción, desarrollo y crecimiento de fauna y vegetación estuarina además de especies marinas que remontan hacia el estuario en su periodo reproductivo (Valdovinos, 2017).

En los sistemas estuarinos los fenómenos de sedimentación son de suma importancia ya que por su ubicación son receptores naturales de sedimentos, estos suelen ser aportadores de nutrientes, sin embargo, en grandes cantidades pueden formar barreras y afectar el flujo hídrico.

El interés en el estudio de los fenómenos de sedimentación en estuarios y lagunas costeras ha incrementado en los últimos años debido a los servicios ecosistémicos que ofrecen. La problemática del azolve se ha acrecentado con el tiempo debido a las malas prácticas como los son los dragados de los ríos con la finalidad de apertura de canales de navegación, la deforestación y la pérdida de la vegetación riverense. En México las lagunas afectadas por azolvamiento van en aumento como es el caso de la laguna de Términos y Pom Atasta en Campeche, la laguna Guásimas en Sonora, Altata Pabellones en Sinaloa, entre otras (Carbajal, 2016)

Sitios RAMSAR

Los humedales son todas aquellas extensiones cubiertas parcial o totalmente por agua, abarcando pastizales húmedos, turberas, acuíferos subterráneos, pantanos, marismas, estuarios, lagos y ríos entre otros, su conservación es de suma importancia por los servicios ecosistémicos que brindan como el aporte de agua, la productividad primaria además hábitat de especies vegetales y animales que dependen de estos para su subsistencia. (Ramsar, 2014)

Importancia para el humano

En 1960, países y organizaciones no gubernamentales negociaron un tratado para la protección de los humedales, esto debido a su preocupación por la pérdida de hábitats de aves migratorias, dicho convenio se adoptó en la convención RAMSAR de 1971 y en él cada contratante incorporó al menos un humedal de importancia internacional (sitios Ramsar). La convención se promulgó en México en 1986, hoy en día cuenta con 143 sitios Ramsar (Ramsar, 2014).

El sistema estuarino “estero de Tumulco” se encuentra ubicado en latitud norte 20°54' a 20°56'30" y la longitud oeste 97°21'15" a 97°18", forma parte del sitio Ramsar 1602, cuenta con aproximadamente 200 ha de manglar, de las cuales Basáñez (2006) asigna un valor de importancia mayor a *Rhizophora mangle* seguido de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Valor de Importancia de las especies de mangle en el ejido Cerro de Tumulco, Tuxpan, Veracruz, México

Especies	Densidad Relativa	Frecuencia Relativa	Dominancia	Valor de Importancia
Rhizophora mangle	60	33.90	9	102.9
Avicennia germinans	23	33.90	60	116.9
Laguncularia racemosa	17	32.20	31	80.2
Total	100	100.00	100.00	300

Nota: Basáñez Muñoz *et al.* (2006, p.118)

Tanto el estero de Tumilco como en la laguna de Tampamachoco albergan las cuatro especies de mangle. Respecto a la ictiofauna en el estero de Tumilco Arguelles & de la Cruz Francisco (2020) registró 18 especies, 14 géneros y 11 familias de peces, con mayor abundancia en el mes de marzo, y menor en los meses de febrero y junio.

Tabla 2

Especies más importantes por sus valores de captura y biomasa determinadas a través del SIMPER al 90%

Especie	Importancia
<i>Oreochromis niloticus</i>	68.85 y 68.48%
<i>Megalops atlanticus</i>	18.48 y 20.11%
<i>Diapterus auratus</i>	7.02 y 6.28%

Nota: Arguelles & de la Cruz Francisco (2020, p.26)

Tabla 3

Listado taxonómico de los peces de Tumilco y su clasificación trófica. * Nuevo registro para el golfo de México. GT: grupo trófico; Omni: omnívoro, Detri: detritívoros, Detri2: detritívoros 2, CaIn1: carnívoros intermedios 1, CaIn2: carnívoros intermedios 2, CaPe1: carnívoros pequeños 1, CaPe2: carnívoros pequeños 2.

Orden	Familia	Especie	Clave	GT
Elopiformes	Elopidae	<i>Elops saurus</i> Linnaeus, 1766	Elosaur	CaPe1
	Megalopidae	<i>Megalops atlanticus</i> Valenciennes, 1847	Megatla	CaIn1
Clupeiformes	Engraulidae	<i>Anchovia surinamensis</i> (Bleeker, 1865)	Ancsuri	CaPe1
Siluriformes	Ariidae	<i>Amphiarus phrygiatus</i> (Valenciennes, 1840)	Ampph y	Omni
		<i>Ariopsis felis</i> (Linnaeus, 1766)	Arifeli	Omni
Gobiiformes	Eleotridae	<i>Guavina guabina</i> (Valenciennes, 1837)	Guagua vi	CaIn2
Carangiformes	Centropomidae	<i>Centropomus mexicanus</i> Bocour (Bocout, 1868)	Cenmex i	CaIn1
		<i>Centropomus pectinatus</i> Poey (Poey, 1860)	Cenpect	CaIn1
		<i>Centropomus poeyi</i> Chave (Chávez, 1961)	Cenpoe y	CaIn1
	Carangidae	<i>Oligoplites saurus</i> (Blonch y Schneider 1801)	Olisaur	CaInt2

		Caranx hipos (Linnaeus, 1766)	Carhipp	CaPe2
		Caranx latus (Agassiz, 1831)	Calatu	CaPe1
Mugiliformes	Mugilidae	Mugil cephalus Linnaeus, (1758)	Mugcep h	Detri1
		Mugil curema (Vlenciennes, 1836)	Mugcur e	Detri1
Cichliformes	Cichlidae	Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758)	Orenilo	Detri1
Perciformes	Gerreidae	Diapterus auratus (Ranzani, 1842)	Diaaura	Detri2
		Eugerres plumieri (Cuvier, 1830)	Eugplu m	Detri2
	Sciaenidae	Bardiella chrysoura (Lacepede, 1802)	Barchry	CaIn2

Nota: Arguelles & de la Cruz Francisco (2020, p.26)

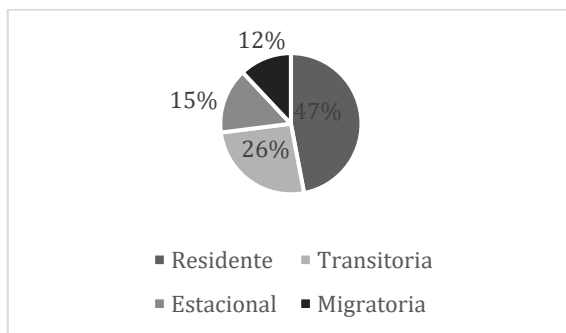
(Serrano *et al.*, 2013a) Registró en 2013 un total de 56 especies de aves que corresponden a 23 familias, las de mayor abundancia fueron Anatidae y Ardeidae y las de menor Pelecanidae y Cuculidae de las cuales 6 se encuentran en categoría de riesgo

Mycteria americana (P), Buteogallus anthracinus (Pr), Anas platyrhynchos diazi (A), Aratinga astec (Pr), Nyctanassa violácea (A), Falco femoralis (A) y Falco peregrinus (Pr).

((P) Peligro de extinción, (A) Amenazada y (Pr) Sujetas protección especial)

Figura 1

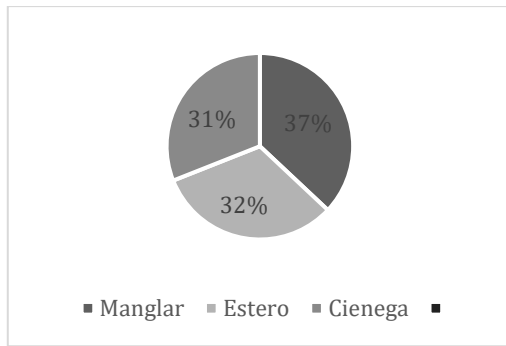
Estacionalidad de las aves



Nota: Serrano *et al.* (2013b, p.481)

Figura 2

Tipos de hábitats preferidos por las aves



Nota: Serrano *et al.* (2013b, p.482)

Edafología

Para el estero de Tumilco el tipo de suelo que presenta es el Vertisol (Vp), Gleysol (GL), pero en las elevaciones hacia el sureste, donde se asienta el Ejido Cerro de Tumilco, se observan los suelos, Regosol (Rc) y Vertisol (Vp) (INEGI, 2001).

Fauna

La fauna característica de los humedales del Estero de Tumilco está compuesta por mamíferos de la familia Dasypodidae como: *Dasypus novemcinctus*, Didelphidae, con una especie, *Didelphis marsupialis*, Leporidae con *Sylvilagus florindanus*, Muridae, sólo con *Mus musculus* y Procyonidae con *Procyon lotor*. Serrano *et al.*, (2013) realizaron un estudio sobre la diversidad y abundancia de aves de un humedal de Tumilco, destacando: *Mycteria americana*, *Buteogallus anthracinus*, *Anas platyrhynchos diazi*, *Aratinga astec*, *Nyctanassa violacea*, *Falco femoralis* y *Falco peregrinus*, *F. peregrinus* y *A. platyrhynchos diazi*, *Egretta caerulea*, *Eudocimus albus*, *Ardea alba* y *Crotophaga sulcirostris*.

Flora

Los tipos de vegetación predominante en el estero de Tumilco son el manglar, el tular y el encinar tropical. De acuerdo con Basáñez *et al.* (2006) las especies de mangle predominantes en esta zona son: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. Mientras que para el tular y el encinar tropical las especies vegetales representativas son *Typha latifolia* y *Quercus oleoides* respectivamente. A su vez con el manglar y el encinar tropical se 16 encuentran asociadas especies que corresponden a la selva mediana subperennifolia como: *Acacia cornigera*, *Bromelia pinguin*, *Bursera simaruba*, *Coccoloba*

barbadensis, Psidium guajava, Jacquinia macrocarpa, Viscum album, Solanum sp., Miconia argentea, Guazuma ulmifolia y Zamia sp.

HODROPERIODO

REGIMEN HIDROLOGICO

HODROPERIODO

1.2. Planteamiento del problema

El análisis morfométrico es un estudio cuantitativo que permite conocer las características físicas de una cuenca, está relacionado con el comportamiento de los caudales que circulan por ella y permite la comparación entre diferentes cuencas (Lux Cardona, 2016). El estudio de la morfometría es fundamental para la comprensión de su comportamiento morfodinámico e hidrológicos (Reyes Trujillo, Barroso, & Carvajal Escobar, 2010). Algunas variables que se pueden tomar en cuenta para el análisis morfométrico son: el área, la longitud de la cuenca, el ancho, etc.

El azolve es la acumulación de sedimentos en los fondos o lechos de los cuerpos de agua. Actualmente diferentes estuarios y lagunas costeras presentan problemas de sedimentación como es el caso de la laguna cerritos y el castaño (Carvajal Evaristo, Tovilla Hernández, & Infante Mata, 2015)

Las acciones para el mantenimiento de canales de ecosistemas costeros pueden resultar beneficiosas para la recuperación de la circulación del agua, sin embargo, deben contar con una planeación para evitar en mayor medida efectos negativos.

Los estudios morfométricos en cuencas hidrográficas pueden ser de utilidad, para el diagnóstico ya que brindan información que permite una mejor formulación de estrategias para su manejo (Lux Cardona, Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas, 2016).

La comunidad de Tumilco se encuentra ubicada en latitud Norte 20° 54' a 20° 56' 30" y la longitud Oeste 97° 21' 15" a 97 ° 18' forma parte del sitio Ramsar 1602 “manglares y humedales de Tuxpan” junto a la laguna de Tampamachoco.

En los últimos años el canal ha presentado problemas de azolvamiento, esto ha ocasionado la pérdida de la navegabilidad del cuerpo de agua, que en el pasado funcionaba como una vía de comunicación entre el puerto de Tuxpan y la comunidad de Tumilco, en donde la población realiza actividades de ecoturismo, dichas actividades representan un aporte económico para la zona a la vez que promueven la conservación de la diversidad natural, social y cultural. Por todo lo anterior la comunidad tiene un gran interés en la recuperación del canal.

Hoy en día se hace de suma importancia realizar un monitoreo de los diferentes parámetros físicos, químicos del agua y suelo, para determinar cuál es el estado de salud, y de esta manera plantear mejores medidas para el mejoramiento y rehabilitación del canal sin generar un daño al ecosistema.

1.3. Justificación

En el ejido Cerro de Tumilco, los pobladores llevan a cabo actividades relacionadas al ecoturismo, entre las que destacan: paseos a caballo, paseos en lancha a través del estero para la apreciación de manglares, así como observación de aves, flora y fauna. El valor cultural de Tumilco radica en que en el pasado fue la frontera de la civilización huasteca el Totonacapan. Es por ello que la comunidad y estero Tumilco poseen suma importancia ambiental, cultural y económica.

El estero de Tumilco ha presentado un rápido azolvamiento en los últimos años, debido al transporte de sedimento proveniente de la cuenca del río Pantepec (Tuxpan) y crecimiento vegetativo, esto ha causado la pérdida de la navegabilidad y el cierre del canal que anteriormente funcionaba como una vía de comunicación para los habitantes.

Debido al problema del azolve que dificulta la navegación, los pobladores han acudido a la CONANP (comisión natural de áreas naturales protegidas), que es la encargada del ANP, así como sus zonas de influencia, para obtener un resolutivo, ya que la ausencia de una vía de

comunicación que conecte al puerto con la localidad dificulta la realización de actividades, que además de promover la conservación representan un aporte económico local.

El presente proyecto pretende generar información útil en la etapa de diagnóstico para la reapertura del canal navegable “estero de Tumilco”, ya que actualmente se cuenta con pocos estudios que brinden información acerca de su estado de azolve actual, hidrología y morfometría.

1.4. Hipótesis

El manglar está perturbando el canal de Tumilco en la sección azolvada y, a la vez está afectando los parámetros fisicoquímicos del agua y suelo

1.5. Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Caracterizar y establecer la propuesta de rehabilitación para la navegación del canal de Tumilco (Sitio Ramsar 1602, Tuxpan) en su sección azolvada, realizando medidas morfométricas e hidrológicas en distintos puntos, con la finalidad de estimar los recursos necesarios y los beneficios socio-ambientales que se obtendrían con esta rehabilitación.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar la morfometría del Estero-Canal de Tumilco en su sección azolvada (perfil transversal y profundidad).
- Analizar los parámetros hidrológicos en el Estero-canal de Tumilco (temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, potencial óxido reducción, oxígeno disuelto en % y mg/l, pH y caudal).
- Analizar características físico-químicas del suelo en el interior del Estero-canal de Tumilco (textura, color, materia orgánica).

2. MARCO TEÓRICO

Morfometría de cuencas

La morfometría es un estudio que permite conocer las características de una cuenca, está relacionada con el comportamiento de los caudales que transitan por ella. Los factores que pueden determinar la forma de una cuenca según Lux (2016) son el área, perímetro, la longitud, el ancho, el factor de forma de Horton y el coeficiente de compacidad.

Área: se expresa en km² y está definida como la proyección horizontal de la superficie de drenaje

Perímetro: Se define como la longitud en un plano horizontal que recorre el contorno de la divisoria de aguas, normalmente se expresa en kilómetros.

Longitud: es la distancia que existe entre la desembocadura de la cuenca y otro punto aguas arriba

Ancho de la cuenca: se refiere a la relación entre el perímetro y el área de la cuenca.

Factor de forma de Horton: Es la relación entre el área y la longitud de la cuenca. Es utilizada para medir que tan alargada es una cuenca. Los valores bajos del factor de forma indican una menor probabilidad de crecientes.

Está definida por la siguiente fórmula:

$$K_f = A/L^2$$

Parámetros hidrológicos en manglar:

Temperatura

La temperatura del agua está relacionada con la temperatura local, regula los procesos geoquímicos y biológicos del manglar, el crecimiento, la actividad y sobrevivencia de los organismos, así como en reacciones enzimáticas en los procesos de descomposición de materia orgánica.

Conductividad eléctrica

la conductividad eléctrica es la capacidad del agua de conducir electricidad, esto se da por medio de los iones disueltos, estos pueden ser positivos (Na^+ , Ca^{+2} , K^+ y Mg^{+2}) o negativos (Cl , SO_4^{-2} , carbonato, bicarbonato). La salinidad puede verse afectada por factores como la geología, la marea, el flujo de los ríos hasta los estuarios debido a la salinidad y la salinidad (a mayor salinidad mayor conductividad eléctrica)

Salinidad

La salinidad es el parámetro que más influye en la distribución y abundancia de los manglares está definida como la concentración de solutos en forma de sales que contiene el agua, es también una medida de la conductividad eléctrica, su unidad es comúnmente el Ups (unidades prácticas de salinidad).

De 30 a 40 cm de profundidad (salinidad intermareal), la salinidad está relacionada con los intercambios de mareas, las fuentes de agua dulce y la microtopografía local, esto condiciona el flujo o estancamiento de la salinidad en un área.

La salinidad en manglares cercanos a las orillas de las costas e islas suele ser mayor a la del mar (35 ups), esto debido a los procesos de evaporación, mientras que en manglares adyacentes ríos es menor a causa de los intercambios de marea. En general la tasa óptima de salinidad para la reproducción de manglar se encuentra entre 2 y 50 ups puesto que los manglares son plantas halófitas facultativas y pueden crecer en diferentes salinidades, sin embargo, diversos estudios sustentan que, a mayor salinidad, mayor es el gasto de energía para mantener el equilibrio del agua lo que propicia menor desarrollo del mangle. En México la especie que presenta mayor tolerancia a salinidades elevadas es el mangle negro (*Avicennia germinans*) seguido del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), aunque este último se desarrolla mejor a salinidades inferiores a las del mar (<35 ups) (Zúñiga *et al.*,2018).

- temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, potencial óxido reducción, oxígeno disuelto en % y mg/l, pH y caudal).

Potencial óxido reducción

El potencial redox es la capacidad oxidante que posee un sistema. Todos los elementos tienen la capacidad de ganar (cargarse positivamente) o ceder electrones (cargarse negativamente). el potencial redox se mide en voltios o milivoltios cuando los valores son muy pequeños).

Oxígeno disuelto

Es la concentración del oxígeno gaseoso presente en el agua, es de gran importancia para la subsistencia de especies que habitan en los ecosistemas, el oxígeno disuelto y la temperatura se encuentran relacionados de manera que el incremento de la temperatura disminuye el oxígeno disuelto.

pH

Los valores de pH en agua y suelos de zonas de manglar son amplios, pero en general suele ser ácido además suele disminuir con el aumento de la distancia del borde al agua.

5.2.4 Potencial redox (Eh)

El intervalo de Eh observado en los suelos de los humedales, incluyendo manglares, es entre +700 a -300 mV. Los valores positivos representan baja actividad de electrones y presencia de condiciones aerobias a condiciones moderadamente anaeróbicas (típicas de zonas de transición en el humedal), lo que favorece las reacciones de oxidación; por su parte, los valores negativos representan alta actividad electrónica y condiciones intensamente anaeróbicas (típicas de suelos permanentemente inundados) que favorecen las reacciones de reducción (Patrick *et al.* 1996; Reddy y DeLaune, 2008).

Referente a las características y estado del mangle en el estero de Tumilco se encuentra el estudio realizado por Rosalino (2015) en donde se tomaron medidas en cinco transectos en dirección perpendicular al estero de Tumilco a una distancia de 25, 50 y 75 m respectivamente, en la investigación se reportan temperaturas del agua superficial poco variables en los transectos (20.75 °C) y mayores variaciones en los meses de mayo en donde se registraron temperaturas mayores a 31.37 °C y en diciembre el mes frío con temperaturas de 18.50 °C. Respecto a la conductividad eléctrica destaca los meses de octubre (608.71 $\mu\text{S/cm}$) y enero (4600.82 $\mu\text{S/cm}$).

El oxígeno disuelto presentó patrones similares en los meses de abril a enero con valores que van de 0 a 7.580 y solo marzo presentó una variación (79.133%).

Azolve

Los procesos de sedimentación pueden verse alterados por construcción de infraestructura y cambios de uso de suelo. Las lagunas costeras y estuarios reciben sedimentos de las cuencas de ríos que desembocan en estos y escorrentía superficial, por lo que son propensos a llenarse de sedimentos y eventualmente desaparecer (Samarakoon y Samarawickrama, 2012).

Los sedimentos que entran a las lagunas y estuarios fortalecen los sustratos para hábitats como marismas manglares y planicies intermareales, también son vitales para la formación de barreras, islas puntas y playa por lo que repone la erosión de la costa (Olsen *et al.*, s. f.).

Las acciones antropogénicas pueden alterar los procesos de sedimentación natural al aumentarla o disminuirla. Los movimientos de tierra en grandes cantidades es el principal causante del aumento de sedimentación, al remover la vegetación estos se desprenden con las lluvias, son arrastrados a los cuerpos de agua y finalmente transportados a lagunas y estuarios. Con el aumento de la sedimentación se incrementa también el material en suspensión y a su vez la turbidez, esto ocasiona que disminuya la cantidad de luz solar que llega a la columna de agua debajo de la superficie, afectando así a organismos bentónicos y pastos marinos que habitan en aguas poco profundas. Por otro lado, la disminución de la sedimentación ocasiona la erosión de los cuerpos de agua, afectando flora y fauna que requiere la reposición de sedimentos como es el caso de los manglares. Las obras de dragado pueden implementarse para disminuir la sedimentación o recuperar la calidad del agua, sin embargo, cuando se carece de predicción e investigación científica puede traer efectos negativos (Miththapala, 2013).

Sedimento

Los suelos poseen una organización natural y son activos biológicamente. Esta organización inherente es el resultado de eventos climáticos y biológicos que alteran las propiedades de los materiales de la superficie terrestre, pues es donde se produce la escasez de oxígeno y la

descomposición con mayor o menor velocidad de la materia orgánica (Richardson *et al.*, 2001).

La naturaleza de los sedimentos y la hidrología de los manglares facilitan el reciclaje en conjunto ya que el manglar depende de la actividad de las bacterias en el suelo y la oxigenación que éste tenga, mientras que los taninos y otras sustancias que exudan de las raíces de los mangles pueden inhibir la fijación del nitrógeno en el suelo (Boto, 1982; Dominico y Schwartz, 1990; Scheffer y Schachtschabel, 1984).

Especies como los mangles (*A. germinans*, *L. racemosa* y *R. mangle*) crecen en sustratos cuya composición varía desde arenosos, lodosos, rocosos y calcáreos, donde existe una mayor acreción y sedimentación con baja energía de oleaje y pendientes suaves que determinan su distribución geográfica y producción primaria, ya que las distintas especies de mangle no son capaces de tolerar las mismas condiciones físico-químicas que el sustrato presenta, como su frecuente falta de oxígeno y cantidad de sales (Benítez, 2007). Los manglares no son sólo los importadores pasivos de partículas finas, sino que capturan activamente limo, arcilla y materia orgánica (Furukawa *et al.*, 1997).

Sánchez *et al.*, (2010) destacaron la importancia de los parámetros físico-químicos en suelos hidromórficos para la conservación de especies vegetales; indicaron que la salinidad incrementa en época de secas, así como el contenido de fósforo y el pH disminuyen en zonas de manglar y en las áreas hipersalinas.

Uno de los criterios físicos de diagnóstico importante para la identificación y evaluación de suelos es el color, ya que es el rasgo más evidente en el perfil 10 edáfico. Está relacionado con muchas propiedades del suelo como: contenido de materia orgánica, fertilidad del suelo y con procesos químicos en medios saturados (Campos y Moreno-Casasola, 2009).

Textura de suelo

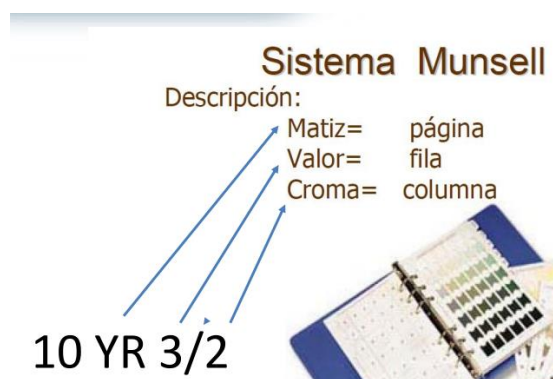
Los suelos de los manglares son extremadamente dinámicos y ejercen una gran influencia sobre la salud y el desarrollo de las plantas de manglar. Se ha observado que los suelos del

manglar son principalmente de tipo franco arcilloso, pero hacia el interior del manglar se reducen las cantidades de limo y aumenta la de arcilla (Lim *et al.* 2012).

El sistema Munsell para la determinación del color del suelo consiste en una tabla en la que cada página representa una tonalidad o matiz es decir la base del color espectral este se simboliza con una letra inicial del color en inglés, las filas son los valores del grado de iluminación en un día se representa como el numerador de una fracción, las columnas son llamadas cromas y significan la intensidad del color esta se visualiza como como el denominador de una fracción (fig.) (Cuarto & Méndez, 2018).

Figura 3

Nomenclatura de los colores para el sistema Munsell



Nota: Cuarto & Méndez, 2018 p.21

Los suelos hídricos tienen comúnmente un cromas menor o igual a 2 debido a condiciones anaeróbicas o inundación, en los humedales el hierro y el magnesio juegan un papel importante en color y características redoximórficas.

Los colores grises, negro, gris verdoso o gris azulado pueden aparecer cuando el suelo está continuamente inundado debido a la reducción del hierro y el manganeso (gleyzación), mientras que cuando el hierro y el manganeso se oxidan dan al suelo el color rojo, naranja o amarillo. Los suelos moteados regularmente indican concentraciones de hierro y manganeso en su forma oxidada y se encuentran regularmente cercanos a las raíces de las plantas debido al escape de oxígeno.

Los suelos superficiales de color negro oscuro o marrón con un bajo valor en la tabla de Munsell indican un enriquecimiento de materia orgánica. El color oscuro resulta de la descomposición de la materia orgánica y la formación de humus (Movilian & Craft, 2021).

Marco normativo

Legislación Ambiental mexicana aplicada a humedales

La Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, llamada Convención de Ramsar, es un tratado intergubernamental que se firmó en la ciudad de Ramsar, Irán en 1971, entrando en vigor a partir 1975. Es el único tratado global relativo al medio ambiente que se ocupa de un tipo de ecosistema en particular. Su misión es la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo (Travieso, 2010).

México se adhirió a la Convención Ramsar a partir del 4 de noviembre de 1986. En el Informe Nacional sobre la Aplicación de la Convención Ramsar sobre los humedales, presentado por México en el 2008, se reconocen las acciones que ha desarrollado México entre las que destacan la identificación de humedales potenciales para su inclusión en la lista de Ramsar, el registro de 52 humedales en el período febrero 2006-febrero 2008 y el desarrollo de los planes de manejo y conservación de estos sitios (Travieso, 2010).

Primeramente, **la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**, en su artículo 27 menciona que la propiedad de las tierras y aguas en el territorio nacional corresponde a la Nación y que se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques para preservar y restaurar el equilibrio ecológico.

En Ley General de Bienes Nacionales, en su artículo 6, se menciona que están sujetos al régimen de dominio público de la Federación los bienes señalados en los artículos 27 y 42 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

En el Artículo 1º de La Ley General de Vida Silvestre menciona que el Gobierno Federal, los Estados y los Municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, relativa a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat en el territorio mexicano.

Además, en esta misma Ley menciona que el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales maderables y no maderables y de las especies cuyo medio de vida total sea el agua, será regulado por las leyes forestales y de pesca, respectivamente, salvo que se trate de especies o poblaciones en riesgo.

En el caso concreto de zonas de manglar **el artículo 60 TER** cita “Queda prohibida la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje (cría); o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos”.

Se exceptuarán de la prohibición a que se refiere el párrafo anterior las obras o actividades que tengan por objeto proteger, restaurar, investigar o conservar las áreas de manglar.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

En el Artículo 60 fracción Tercera, se menciona que se prohíbe cualquier obra o actividad que afecte la integridad del flujo hidrológico del manglar, de su ecosistema y su zona de influencia, de su productividad natural, de su capacidad de carga natural para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar, ríos dunas, la zona marítima adyacente.

NOM-059-SEMARNAT-2010 “Protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio en la lista de especies en riesgo”, donde se registran las especies existentes de mangles en México: *Laguncularia racemosa* (mangle blanco); *Avicennia germinans* (mangle negro); *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo), las

cuales se mencionan en las categorías Amenazadas no endémicas (a excepción del mangle rojo que es endémico).

La NOM-022-SEMARNAT-2003 establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar; en está, se describe la posibilidad de un aprovechamiento sustentable en las zonas de manglar, con términos, límites y especificaciones que no deben de sobrepasarse.

Reglamento interno de SEMARNAT

En el artículo 141.- La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas tendrá las atribuciones siguientes:

- I.** Fomentar y desarrollar actividades tendientes a la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad en las áreas naturales protegidas, en sus zonas de influencia, en las áreas de refugio para proteger especies acuáticas y otras especies que por sus características la Comisión determine como prioritarias para la conservación;
- II.** Formular, ejecutar y evaluar los programas de subsidios para fomentar el desarrollo de actividades prioritarias de interés general que permitan proteger, manejar y restaurar los ecosistemas y su biodiversidad a través de las comunidades rurales e indígenas ubicadas en zonas marginadas dentro de las áreas naturales protegidas, en sus zonas de influencia y otras regiones que por sus características la Comisión determine como prioritarias para la conservación;
- III.** Ejecutar y promover en las áreas naturales protegidas, en sus zonas de influencia, en las áreas de refugio para proteger especies acuáticas y otras especies que por sus características la Comisión determine como prioritarias para la conservación, los programas especiales, productivos o de cualquier otra naturaleza que se prevean en el Presupuesto de Egresos de la Federación, o en otras disposiciones jurídicas.

Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)

Manglares y Humedales de Tuxpan. Esta (FIR) se llenó el 20 de junio de 2005, es designado como sitio Ramsar el cual se localizan en la parte baja costera; se encuentran divididos por el río Tuxpan. Al norte del río Tuxpan, se observan los manglares de la Laguna de

Tampamachoco y al sur del mismo, los manglares y humedales asociados a los esteros de Tumulco y Jácome.

Criterios de Ramsar 1: Los manglares y humedales de Tuxpan tienen importancia porque cuentan con uno de los manglares mejor conservados de la Provincia Biogeográfica del Golfo de México.

Criterio 2: Las especies bajo protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2001 incluyen a la serpiente zolcuete o cantil (*Agkistrodon bilineatus*), también CITES Apéndice III; la garza morena (*Ardea herodias*); la aguililla negra menor (*Buteogallus anthracinus*), también CITES Apéndice II; el carpintero pico plata (*Campephilus guatemalensis*); el cocodrilo (*Crocodylus moreletii*), también CITES Apéndice I; la iguana espinosa del golfo (*Ctenosaura acanthura*); la mariposa monarca (*Danaus plexippus*); la garceta rojiza (*Egretta rufescens*); la tortuga (*Kinosternon herrerae*); la cigüeña americana (*Mycteria americana*) y la oropéndola Moctezuma (*Psarocolius montezuma*).

Criterio 3: Los manglares y humedales de Tuxpan, mantienen una extensión considerable de manglar y tular, que brindan hábitat a muchas especies de la Provincia Biogeográfica de la Costa del Golfo de México. Además de las especies amenazadas que se incluyen en el criterio anterior, existen al menos 120 especies de peces y mariscos, muchos de ellos de importancia comercial como los descritos en la Sección 20.

Criterio 7: Las 179 especies de peces que conforman la ictiofauna conocida hasta la fecha para el sistema Tuxpan-Tampamachoco equivalen al 56.3% del total de las especies citadas por Reséndez y Kobelkowsky (1991) para las 13 lagunas costeras más conspicuas del Golfo de México. En virtud de lo anterior, y tomando en cuenta el estado actual del conocimiento de la ictiofauna estuarina mexicana, este ambiente se destaca como uno de los más ricos en especies de peces de las costas del Atlántico de México, en donde sólo es superado por la Laguna de Términos (Fuentes-Mata, 1991).

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Descripción de los trabajos relacionados

En el siguiente apartado se darán a conocer artículos y tesis los cuales hablan con el tema abordado con el objetivo de poder entender el propósito del presente trabajo, morfometría en la parte azolvada y acciones para rehabilitar la navegación.

AUTORES	TITULO	OBJETIVO GENERAL	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE INFORMACION	RESULTADOS
Giovanna de Jesús Martínez López, MEXICO,2017.	El. estimación de la tasa de azolvamiento de la laguna Pampa	El objetivo del presente trabajo fue estudiar las variaciones, espaciales, temporales, de la tasa y tipo de sedimentos que se depositan en Laguna Pampa.El Cabildo, Chiapas, México.	Se realizó un análisis espacio-temporal de la sedimentación por sitios y meses de trabajo en la Laguna Pampa El Cabildo (LPC), Se muestrearon nueve sitios durante ocho meses de muestreo, se midió la temperatura, pH, profundidad y transparencia y se recolectaron muestras de agua y sedimentos para determinar sólidos totales, materia orgánica y textura. La sedimentación se midió con trampas.	Obtuvo que El promedio máximo de materia orgánica fue $12.98 \pm 9.91\%$. La tasa de sedimentación fue mayor en los meses de mayo y marzo 2011 con los valores de 54.13 ± 31.40 , 53.72 ± 28.23 kg/m ² /mes y en los sitios seis y cinco 54.26 ± 27.27 y 39.18 ± 25.26 kg/m ² /mes.
FI Contreras, JC Meza, N Scipioni, DR Hernández, FI Ruiz-Díaz,2017	Cambios morfométricos de lagunas aluviales del río Paraná y su incidencia en la	el objetivo de este trabajo fue aplicar modelos de anegamiento en la llanura aluvial del río Paraná, a fin de	Para ello se utilizó la herramienta Increase level water del software Global Mapper 15.1, teniendo	Demostraron que la laguna Galloso se encuentra 2 m por debajo de la laguna Melilla, quedando más

	diversidad íctica	establecer las diferencias topográficas entre las lagunas Galloso y Melilla, para explicar sus respuestas frente a los pulsos de inundación y por consiguiente sus diferencias morfométricas y biológicas	como base un modelo de elevación digital generado a partir de una imagen SRTM de 30 m.	expuesta a los pulsos de inundación del río Paraná. Dicha situación se ve reflejada en sus variaciones morfométricas entre los años estudiados, en donde la laguna Galloso ha aumentado 19 veces su superficie mientras que la laguna Melilla se mantuvo estable.
Jaime de Jesús Rodríguez Curcio, Jean Linero Cueto, Leandro Jose Barros Ortíz, 2018	Caracterización morfométrica de una laguna costera neotropical (ciénaga El Chino, Magdalena - Colombia)	Analizar las características batimétricas y morfométricas de la ciénaga El Chino y construir bases científicas elementales en la comprensión de su comportamiento hidromorfológico, a través de la información generada	Los levantamientos batimétricos fueron realizados en octubre de 2015 y octubre de 2017, con un equipo de sondeo acústico mono haz ó monohaz (Ecosonda Garmin GPSMAP521S), guiado con GPS Garmin Gpsmap 64s, y sensor de nivel para la corrección de marea,	Encontró un cuerpo de agua somero e hipersalino, con un perímetro rodeado por una espesa franja manglar e islotes de esta misma vegetación en algunas zonas. El cuerpo de agua mostró una profundidad máxima de 0,67 y 0,77 m, profundidad relativa muy baja (0,0201 y 0,0292), área de 8,62 km ² , volumen de 4,30 Mm ³ y 5,248 Mm ³ , en 2015 y 2017, respectivamente. Longitud

				máxima de 5,89 km y orientado en la dirección Sur-suroeste (SSO) – Nor-noreste (NNE), ancho máximo de 2,14 km. El factor de forma indica que es un cuerpo de agua de forma cóncava, la pendiente promedio es muy baja (0,0974 %).
Teutli Hernández, C., Herrera-Silveira, J.A., Cisneros-de la Cruz, D.J., Roman-Cuesta, R.M,2020	Guía para la restauración ecológica de manglares: Lecciones aprendidas	El objetivo de esta guía es orientar y fortalecer las capacidades locales de todo aquel interesado en recuperar áreas de manglar	Documento está basada en la mejor información disponible y en la experiencia de los autores; proporciona información científica y técnica para apoyar la toma de decisiones, especialmente para políticas, proyectos o estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático.	Esta guía propone una estrategia para implementar proyectos restauración ecológica de manglares sin importar el grado de afectación, las condiciones de clima, geomorfología e hidrología en las que se encuentran.
Ordóñez, O. G., Rodríguez, A. R., Díaz, L. E., Toledo, F. E., & Borrero, D. D,2021.	Respuesta a corto plazo de parámetros fisicoquímicos del agua a la rehabilitación hidrológica de caños en manglares de Cispata,	El objetivo de este estudio fue evaluar las respuestas en el corto plazo (< seis meses) de parámetros fisicoquímicos del agua en los caños	Para evaluar la calidad del agua en caños y ciénagas se establecieron seis estaciones de muestreo y se midieron los parámetros fisicoquímicos del	La calidad del agua antes de la RH en algunas estaciones era pésima, en otras inadecuada y aceptable; después de cinco meses de la RH, la calidad fue

	Caribe colombiano.	rehabilitados y dentro del manglar en el sector Dago-Ustria	agua de forma in situ, como la temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto (OD) del agua superficial con la ayuda de un multiparámetro HACH y se recolectó una muestra de agua a 30 cm de profundidad.	aceptable en todas las estaciones. Después de la RH la salinidad y temperatura del agua dentro del manglar disminuyeron a valores adecuados para las plántulas de mangles. En el corto plazo, la RH mejoró significativamente las condiciones fisicoquímicas del agua en caños, ciénagas y dentro del manglar para la preservación de fauna y plántulas de mangles.
Elías, B. C., Jiménez, H. G., & Martínez, J. A. V,2021.	Diagnóstico de áreas degradadas de manglar y propuestas de restauración ecológica en el estado de Guerrero, México	Es identificar y documentar la degradación de un área de manglar con daños estructurales	Se utilizó la metodología cualitativa mediante la técnica de observación participante en la zona de manglar afectada y la toma de fotografías como técnica para recolección de evidencias cualitativas, así como entrevistas a representantes clave que intervinieron en el proceso de identificación de	Propuso una propuesta técnica metodológica para determinar los factores causantes de la degradación, incluyendo acciones de restauración ecológica por implementar en la zona afectada en el estero de Tila, municipio de Marquelia, Guerrero, México.

			la problemática, planteando	
--	--	--	--------------------------------	--

4. METODOLOGIA

4.1. Área de Estudio

El presente proyecto se realizó en el Estero-canal de Tumulco dentro del sitio Ramsar 1602 “manglares y humedales de Tuxpan”, se encuentra en la parte baja costera del Norte del Estado de Veracruz, dividido por el río Tuxpan (Basáñez *et al*, 2006). El manglar de Tumulco se ubica en la costa del Golfo de México en la Región Terrestre Prioritaria (RTP-103) para la conservación de México (Arriaga *et.al.*,2000). En este humedal encontramos a las cuatro especies de mangle (*Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* y *Rhizophora mangle*) asociadas a espartal, tular, acahual y bosque de encino (Basáñez-Muñoz 2005). Su importancia para la conservación radica por tanto en que es el más grande y mejor conservado que aún queda al norte del Papaloapan, siendo un importante hábitat para un gran número de especies de estuario y marinas (INEGI 2001, CONABIO 2007, Bojorges-Baños 2011).

El área de estudio se ubica en el Estero de Tumulco localizado entre la latitud 20.944472°, longitud -97.354843° y latitud 20.914272°, longitud -97.324131°.

Figura 3

Localización del área de estudio Estero de Tumulco



4.2 MATERIALES Y METODO

Durante el mes de agosto del 2021 se realizaron recorridos vía terrestre y acuático en el área de estudio a lo largo del estero de Tumilco para identificar y cuantificar el problema. Para ello, se empleó la metodología cualitativa mediante un análisis exploratorio, inductivo y descriptivo (Monje, 2011), utilizando la técnica de observación participante (Gómez, 2012; Hernández-Sampieri, Fernández y Baptista, 2018; Taylor y Bogdan, 2000).

Se recolectaron evidencias cualitativas de los daños observados sobre la vegetación de manglar por medio de la técnica fotográfica (González, 2008) con la finalidad de tener insumos visuales de la afectación.

También se reanalizaron entrevistas a informantes clave que intervinieron en el proceso de identificación de la problemática, tales como habitantes de Tumilco, subagente de y representantes de la Conanp. Asimismo, se efectuaron recorridos *in situ* en la zona intervenida de manglares para verificar la situación actual del proceso de restauración ecológica.

3.2.1 Parámetros hidrológicos

Para llevar a cabo el estudio hidrológico se acudió al sitio de estudio y se estableció una red de 6 estaciones de muestreo previamente georreferenciados con la ayuda de un GPS (Garmin 72H) que abarcan desde una estación de referencia ubicada en el cuerpo de agua del “Río Tuxpan”, hasta el interior del Estero-canal de Tumilco (Figura.1).

Las mediciones de los se llevaron a cabo en las estaciones de verano (septiembre) y otoño (noviembre) 2021 con la ayuda de un equipo sonda multiparamétrico portátil HANNA HI, en las estaciones previamente establecidas, tomando tres lecturas para agua baja, media y superficial. Se tomaron las siguientes mediciones *in situ*:

La Turbidez se midió con disco de Secchi, la temperatura, salinidad, conductividad, SDT, oxígeno disuelto (Mg/l, %), y potencial óxido- reducción.

Figura 4

Área de muestreo Estero de Tumilco



3.1.2 Morfometría

Para determinar la forma en diferentes secciones del canal, se llevó a cabo el perfil transversal en tres estaciones de las cuales la primera y la segunda se realizó el día 22 de noviembre del 2022, y la tercera el día 22 de febrero del 2022. Para esto, primero se determinó de forma práctica el nivel máximo de inundación de cada borde del canal (Figura 5), colocando dos varillas enterradas en los bordes y unidas mediante un cabo, para posteriormente, con la ayuda de un flexómetro o estadal, ir midiendo las alturas; para el primer perfil transversal se midió la altura cada 0.20 m de sección del cabo y; para el segundo y tercer perfil fue cada 0.40 m para posteriormente calcular el área de cada sección (pequeños rectángulos), donde la sumatoria de estos nos dará el área total del perfil transversal.

Figura 5

Ubicación de los perfiles transversales realizados



3.2.3 Análisis del suelo

Las colectas del suelo se realizaron en el mes de noviembre por única vez, para ello se eligieron dos sitios de muestreo (Figura 4), para cada punto se muestreo cerca de la orilla y centro del canal. La toma de muestra de suelo se llevó a cabo con la ayuda de un barreno, posteriormente se depositaron en bolsas de plástico ziploc de 1/2 kg y se etiquetan de acuerdo a cada punto georreferenciado.

Figura 4

Zona de muestreo del suelo en el Estero-canal de Tumilco.



Las muestras se transportaron al laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, donde se determinaron los siguientes puntos:

Parámetros físicos

1.- La materia orgánica (%) se determinó de manera indirecta mediante el método de Bouyoucos, AS 09 (NOM-021- SEMARNAT-2000), Para ello se pesaron 60 g de muestra y se le aplicó el pretratamiento para ello se le aplicó 40 ml de agua oxigenada al 30% para eliminar la materia orgánica sucesivamente hasta que no hubiera efervescencia, después se pesaron las muestras y se le restó el peso a la muestra original.

2.- El color del sedimento (intensidad, matiz y brillo) se determinó mediante la observación en la tabla Munsell (1980), de color de suelos. La determinación se basa en el igualamiento del color (matiz, brillo e intensidad) observado en el suelo seco sobre una placa de porcelana blanca. Para ello determinamos el color en suelo seco y húmedo para los dos sitios muestreados

3.- La Textura (%) se determinó por el método de Bouyoucos, AS 09 (NOM-021-SEMARNAT-2000), el cual se basa en clasificar el tipo de textura de la muestra y medir el porcentaje de partículas inorgánicas en el sedimento.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de las variables fisicoquímicas del agua de estudio para analizar el comportamiento a escala temporal y espacial e identificar diferencias estadísticas entre fechas y estaciones de medición, con un nivel de significancia del 95 %.

Así mismo se realizó un análisis de prueba de Tukey para buscar que fechas y estaciones son las que presenta las diferencias significativas en comparación a las variables. Todos los análisis fueron realizados mediante el programa minitab 2019.

3.2.3 Propuesta de proyecto

Con base en la información obtenida en el Diagnóstico del estado actual que presenta el Estero-canal de Tumilco, se elaboró una propuesta Técnica que incluye las acciones para rehabilitar la navegación, el tipo de infraestructura propuesta a desarrollar, los materiales a utilizar y la estimación de los costos de los materiales. Además, las sugerencias para rehabilitar la zona en un futuro.

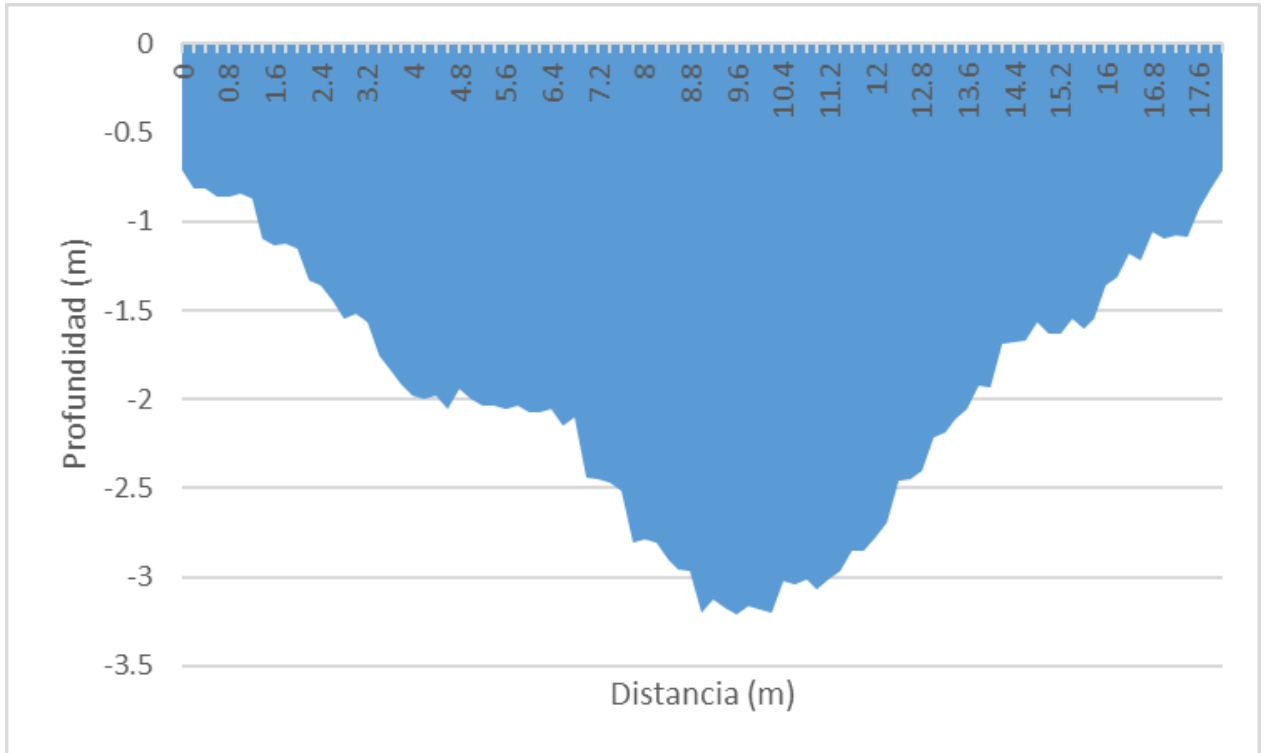
5. Análisis y discusión de resultados

Análisis de la morfometría y la batimetría (perfil transversal)

La representación gráfica de los perfiles transversales de profundidad-distancia se ha realizado también separando las diferentes zonas con el fin de observar los patrones de forma.

Figura 5

Primer Perfil transversal en el Estero-canal de Tumulco.

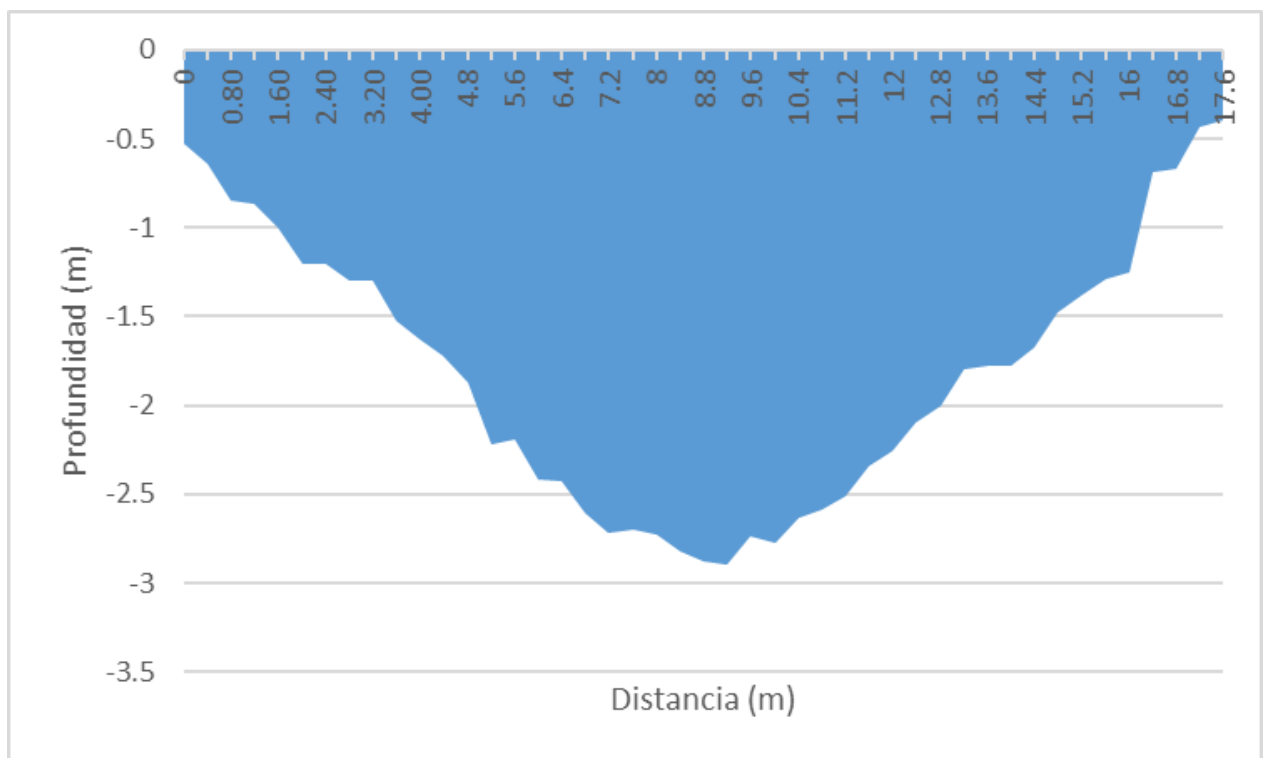


Para el primer perfil transversal se identificó un foco de inundación de 0.71 m, a lo largo del canal de 18 m de ancho aproximadamente Y una profundidad hasta el espejo de agua de 2.50 m.

El valor del área hasta el espejo de agua fue de 23.054 m². En la figura 5 se muestra como los sedimentos se depositan en las orillas del canal. Como se ve en la gráfica en términos de sedimentación aún permite la navegación.

Figura 6

Segundo perfil transversal en el Estero-canal de Tumilco.



Para el segundo perfil transversal se identificó un foco de inundación de 0.35 m, a lo largo del canal de 17.6 m aproximadamente, una profundidad hasta el espejo de agua de 2.53 m. El área al espejo de agua fue de 26.02 m². Como muestra en la figura 6, la profundidad x aún hace posible la navegación.

Figura 7
Tercer perfil transversal en el Estero de Tumilco

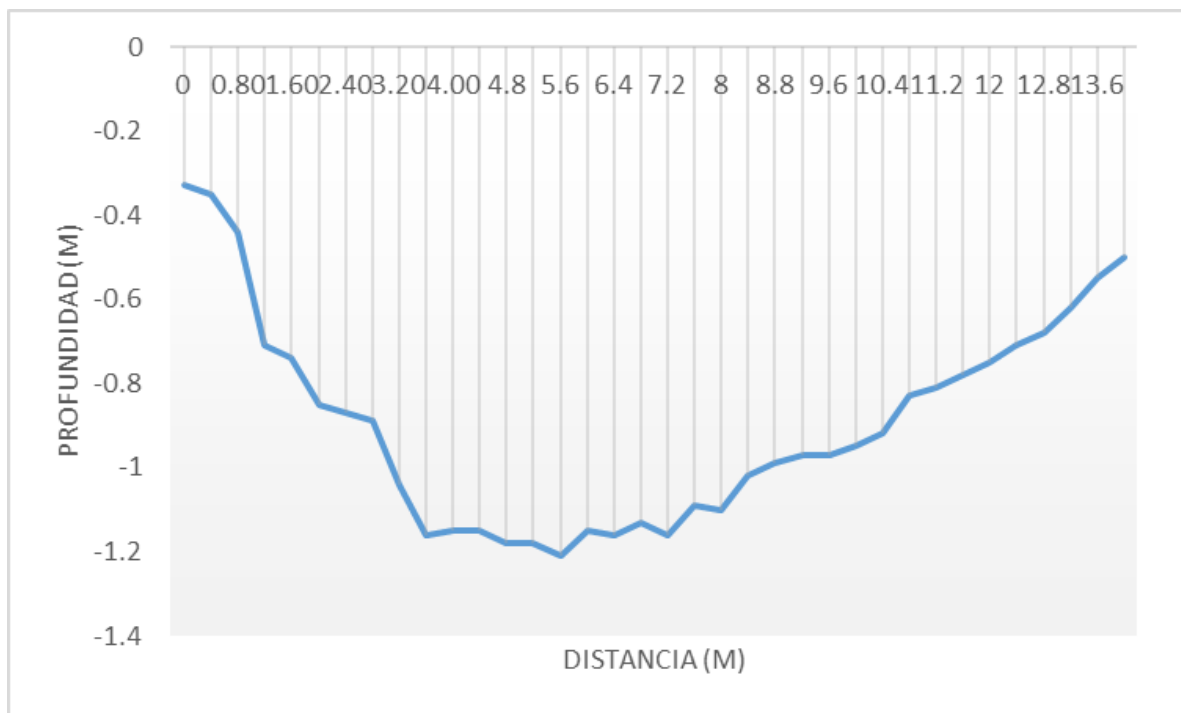


Figura 8
Sección azolvada estimada

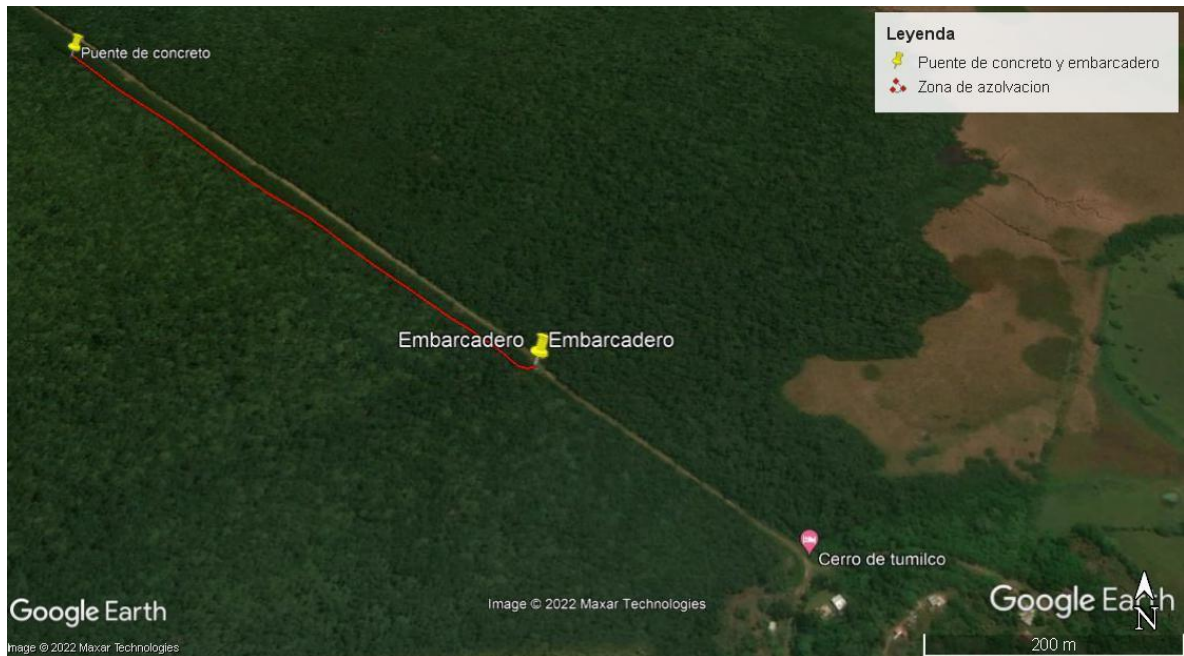
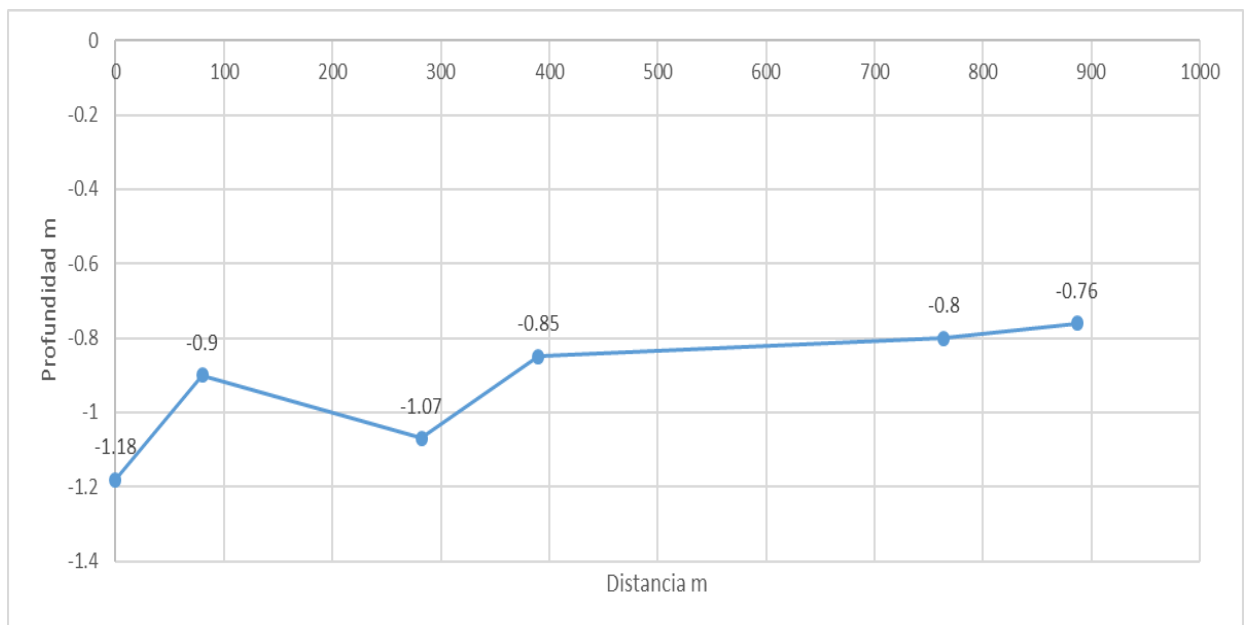


Figura 9

Representación gráfica de la batimetría en la zona azolvada del canal



De acuerdo a los resultados, se obtuvo una profundidad máxima de 2.49 metros para el primer perfil transversal, de 2.55 m para el segundo y 0.85 m para el tercero. Los resultados de los

primeros dos perfiles indican una profundidad adecuada para el tránsito de embarcaciones y para el tercero solo la entra de embarcaciones con remo.

Por otro lado, las profundidades comienzan a disminuir a partir del punto que corresponde a las coordenadas 20.9197302, -97.3302955 (Cerca de un puente de concreto ubicado en la comunidad), la profundidad máxima registrada en esta sección del canal fue de 1.18 m, disminuyendo gradualmente hasta el punto ubicado en el embarcadero en donde se registró la mínima profundidad siendo esta de 0.76m (Figura 9).

Análisis fisicoquímico del suelo

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante las pruebas de Bouyoucos el tipo de suelo en los puntos muestreados es franco arcilloso en las orillas del canal esto coincide con los resultados obtenidos por Rosalino (2015) para el manglar de Tumilco. También se identificaron otros tipos de textura como arcilloso arenoso y franco arcilloso arenoso en la parte central del canal.

Los colores que se observaron en el suelo del estero de Tumilco fue negro aceituno para la estación A y gris para la estación B con cromas igual y menores a 2 y valores entre 5 y 7.5 lo que indica que se trata de un suelo típico de humedales con grandes cantidades de materia orgánica, no se percibieron diferencias entre la muestra extraída en las orillas y las de los centros.

Tabla 4

Textura y color del suelo del Estero de Tumilco.

ESTACIÓN	Muestra	TEXTURA	RESULTADO MUNSSELL	COLOR
Estación a	orilla	franco arcilloso	5y2/2	Negro aceituna
	centro	franco arcilloso arenoso	7.5y2/2	Negro aceituna
Estación b	orilla	franco arcilloso	5y4/1	Gris
	centro	arcilloso arenoso	7.5y4/1	Gris

Tabla 5

Propiedades del suelo del Estero-canal de Tumilco.

Estación	Muestra	Materia orgánica %
A	Orilla	6.08
	Centro	11.25
B	Orilla	9.5
	Centro	6.16

Los resultados obtenidos para esta variable indican que son suelos orgánicos que van de 6.08 a 11.25 %, los resultados obtenidos corresponden a la zona donde se ha cerrado completamente el manglar que se caracterizan por ser zonas de alta productividad esto explica la alta presencia de materia orgánica.

Análisis fisicoquímico del agua.

Cuadro 1. Promedio por fecha de los distintos parámetros fisicoquímicos del agua en el sistema estuarino (Estero- canal de Tumilco)

Fecha		17 SEP 21	22 NOV 21
Parámetro Fisico-químico	Secchi (cm)	-0.83	-0.96
	Temperatura (°C)	27.6	23.5
	pH	7.69	7.61
	ORP	-38.7	-43.0
	Oxígeno D. (mg/l)	2.45	0.42
	Oxígeno D. (%)	34.69	5.93

Conductividad (mS/cm)	27747	3173
Salinidad (UPS)	15.98	14.26
TDS (mg/l)		

Cuadro 2. Promedio en las distintas estaciones de muestreo de los distintos parámetros fisicoquímicos del agua en el sistema estuarino (Estero- canal de Tumulco)

Estación		1	2	3	4	5	6
Parámetro Físico-químico	Secchi (m)	-1.34	-0.92	-0.45	-0.60	-0.60	-0.62
	Temperatura (°C)	26.3	26.2	29.1	25.3	20.6	22.2
	pH	7.84	7.82	7.37	7.42	7.56	7.46
	ORP	6.8	20.9	-233.0	-91.3	-4.9	-75.3
	Oxígeno D. (mg/l)	3.02	2.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	Oxígeno D. (%)	42.3	28.9	0.00	0.00	0.00	0.00
	Conductividad (mS/cm)	11334	2044	10.6050	49636	8593	4552
	Salinidad (UPS)	23.58	18.74	5.95	9.24	4.82	9.07
	TDS (mg/l)						

Turbidez

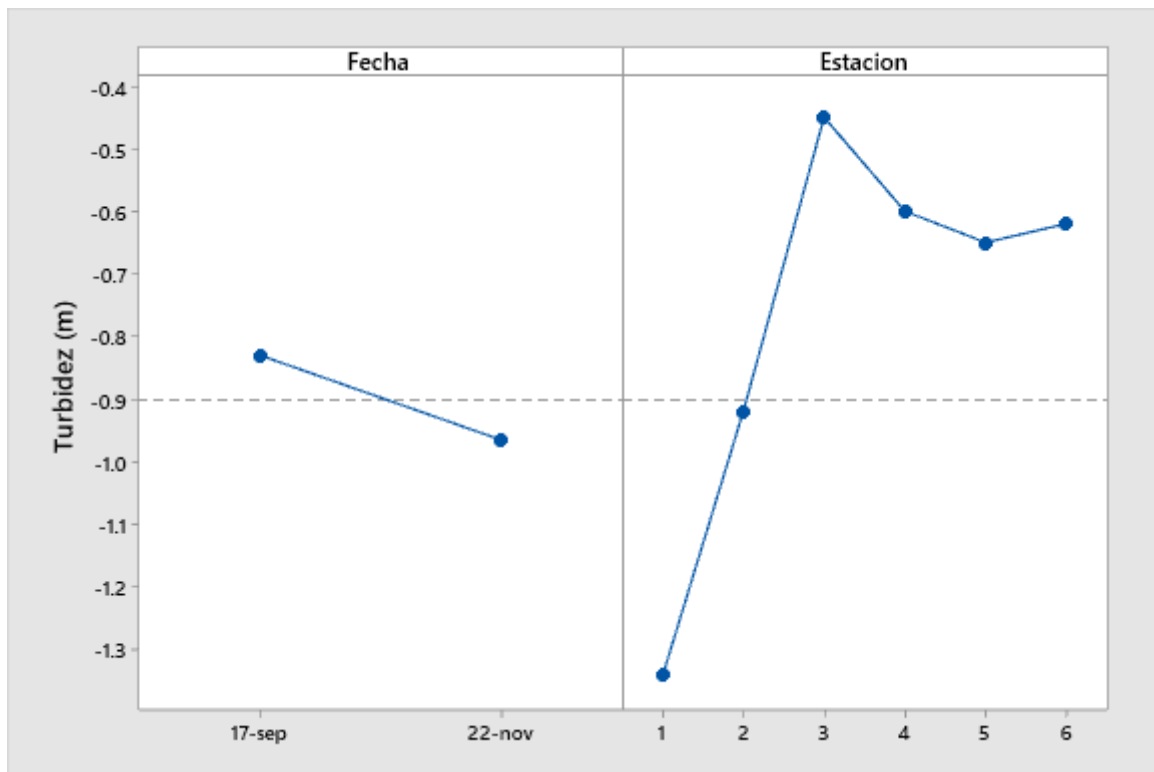
La turbidez presentó un mínimo de 0.45 m y un máximo 1.8 m con un promedio de 0.84 m, donde la suspensión de sedimentos es la principal causa, así como limificación por arrastre terrígenos lacustres, sin dejar a un lado la producción planctónica que también contribuye a la obstaculización del paso de luz en la columna de agua (Figura 10).

La turbidez del agua media por fecha fue de 0.89 m, entre las fechas muestreadas no presentó diferencias en la prueba ANOVA ($F=0.46$, $P=0.505$), la prueba Tukey no arroja diferencia entre las fechas, y agrupa las dos mediciones en el grupo A; para septiembre (0.83 m) el más turbio y noviembre (0.96 m) menos turbio.

La turbidez por estación arroja diferencias significativas entre los puntos muestreados (ANOVA $F=4.48$, $P=0.011$) donde la prueba Tukey diferencia al río Tuxpan (estación 1) agrupada en el grupo B con media de -1.34 m y el Estero de Tumilco (estación 3 y 4) en un grupo A con una media de -0.52 m. Las similitudes del canal se encuentran en el grupo AB (estación 2,5,6). La estación 1 corresponde al río de Tuxpan, conforme se adentra al estero de Tumilco la turbidez va aumentando cada vez que se adentra al manglar (Figura 10).

Figura 10

Turbidez (m) media del Estero-canal de Tumilco por fecha y estación.



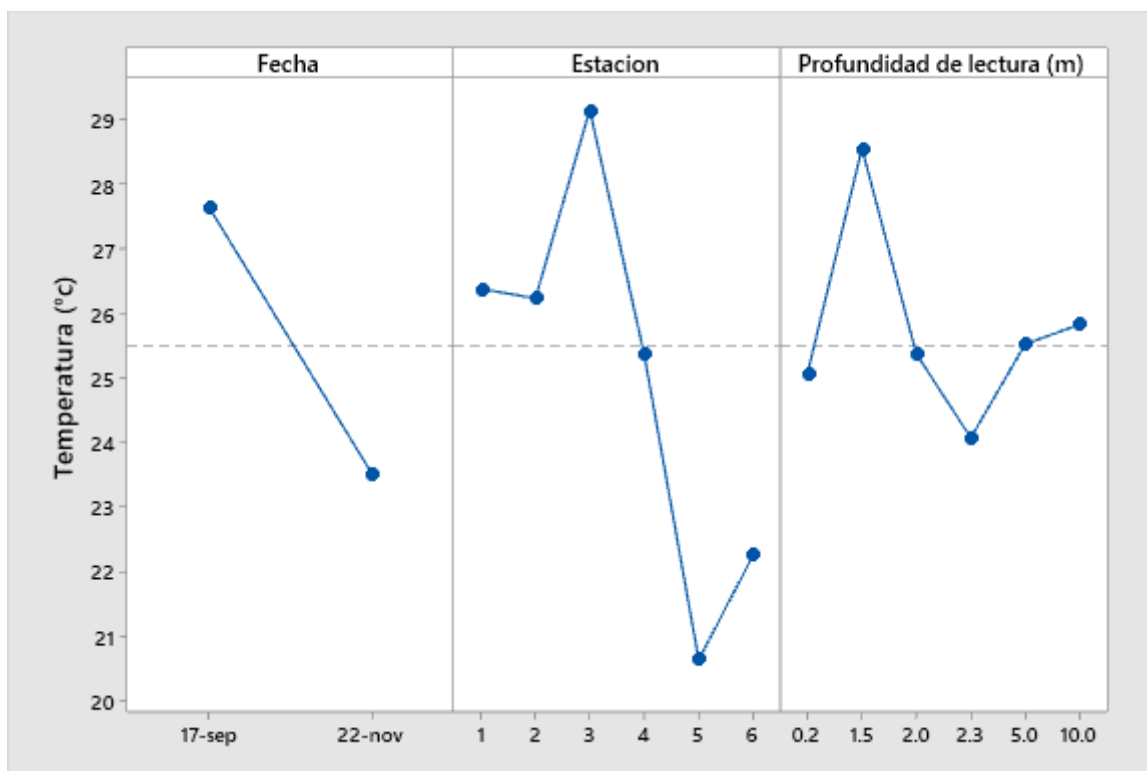
Temperatura

La temperatura del agua entre las fechas presentó diferencias estadísticamente significativas (ANOVA $F=18.74$, $P=0.000$), la prueba Tukey diferencia al mes de septiembre en el grupo A con media de 27 °C como el más cálido gráficamente y noviembre en otro grupo B con media de 23 °C como el más frío; cabe resaltar que las mediciones se realizaron en diferentes horas para las dos fechas de medición.

Para la temperatura entre estaciones también se encontraron diferencias significativas (ANOVA $F=3.97$, $P=0.017$), donde la prueba Tukey diferencia el río Tuxpan (estación 1) en el grupo A con media de $26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el Estero de Tumilco (estación 5) con media de $20.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, donde el sistema de estaciones arroja similitudes con ambos grupos (AB) con una media de 0.40m , salvo que la estación 3 presenta similitudes con la estación 1 y se agrupa en el mismo grupo.

Figura 11

Temperatura media del Estero-canal de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura (m).



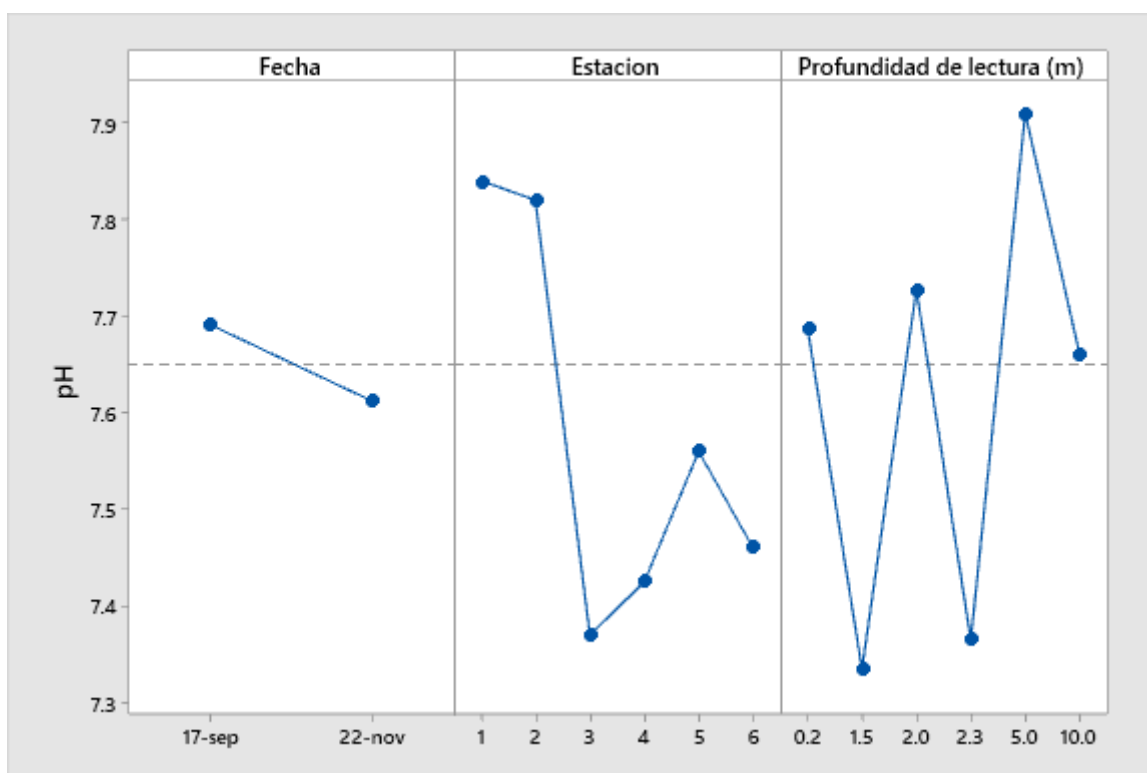
pH

El pH no arrojó diferencias estadísticamente significativas entre las fechas de muestreo (ANOVA $F=0.44$, $P=0.517$), para la prueba Tukey agrupa la fecha de septiembre con una media de 7.69 pH y noviembre con una media de 7.61 pH en el grupo A, ambas fechas presentan similitudes de acuerdo a la prueba.

Para las estaciones también no presentó diferencias significativas (ANOVA $F=3.79$, $P=0.020$), donde la prueba Tukey agrupa a todas las estaciones en solo grupo A, con una media grupal de 7.07 pH presentando similitudes entre ambos sitios de medición (Figura 12).

Figura 12

pH medio del agua en el Estero de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura (m).



Orp

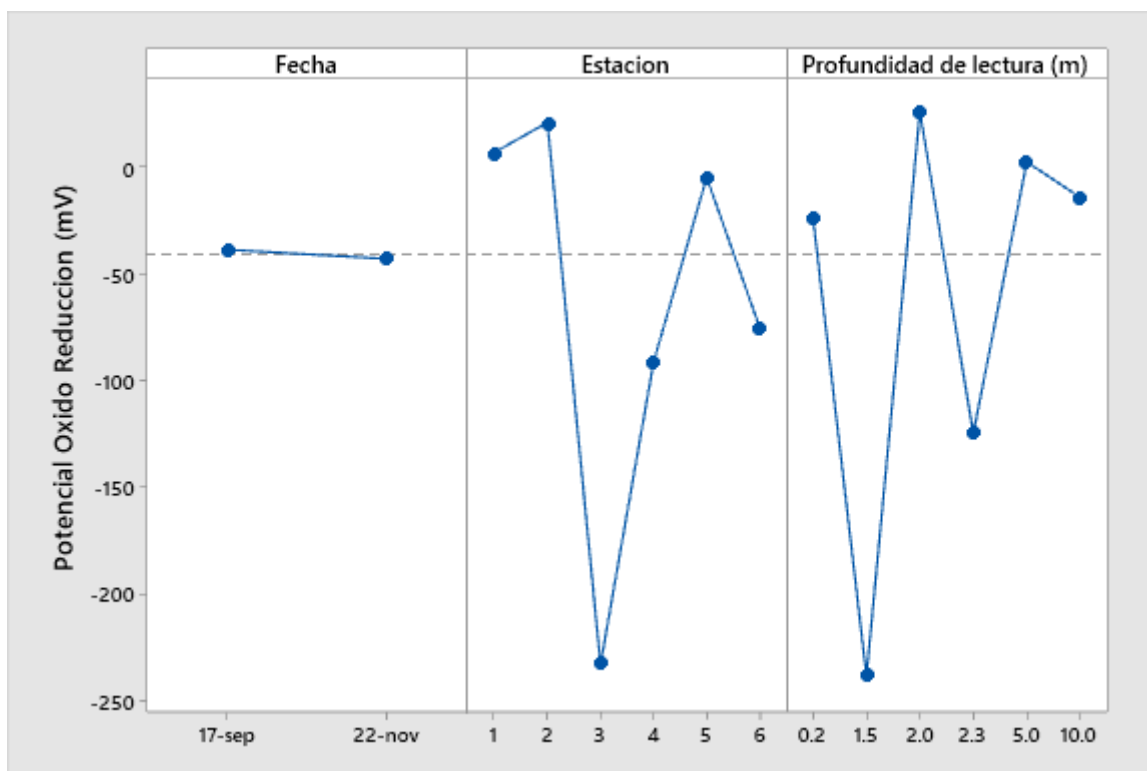
Para el Potencial de óxido reducción entre las fechas no presentó diferencias significativas (ANOVA $F=0.01$, $P=0.926$), para la prueba Tukey las dos fechas presentan similitudes, donde la prueba agrupa a las dos en el grupo A, con una media para septiembre -38.7 mV y para noviembre -43.0 mV.

Para las estaciones, arrojo diferencias significativas (ANOVA $F=3.94$, $P=0.018$), donde la prueba Tukey separa la estación 1 río Tuxpan en un grupo A con medias de 6.8; y para el

Estero de Tumilco (estación 3) en otro grupo B con media de -233mV. Las similitudes las presento los sitios 4,5 y 6 agrupados en AB con media grupal de -57.16 (Figura 13).

Figura 13

Potencial Óxido Reducción media del Estero de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura.



Oxígeno disuelto (mg/l)

El oxígeno disuelto (mg/l) entre las fechas presentó diferencias significativas (ANOVA $F=8.17$, $P=0.010$) donde la prueba Tukey separa al mes de septiembre en el grupo A con media de 2.45 mg/l con mas oxígeno disuelto y el mes de noviembre en otro grupo B con media de 0.42 mg/l con menos oxígeno.

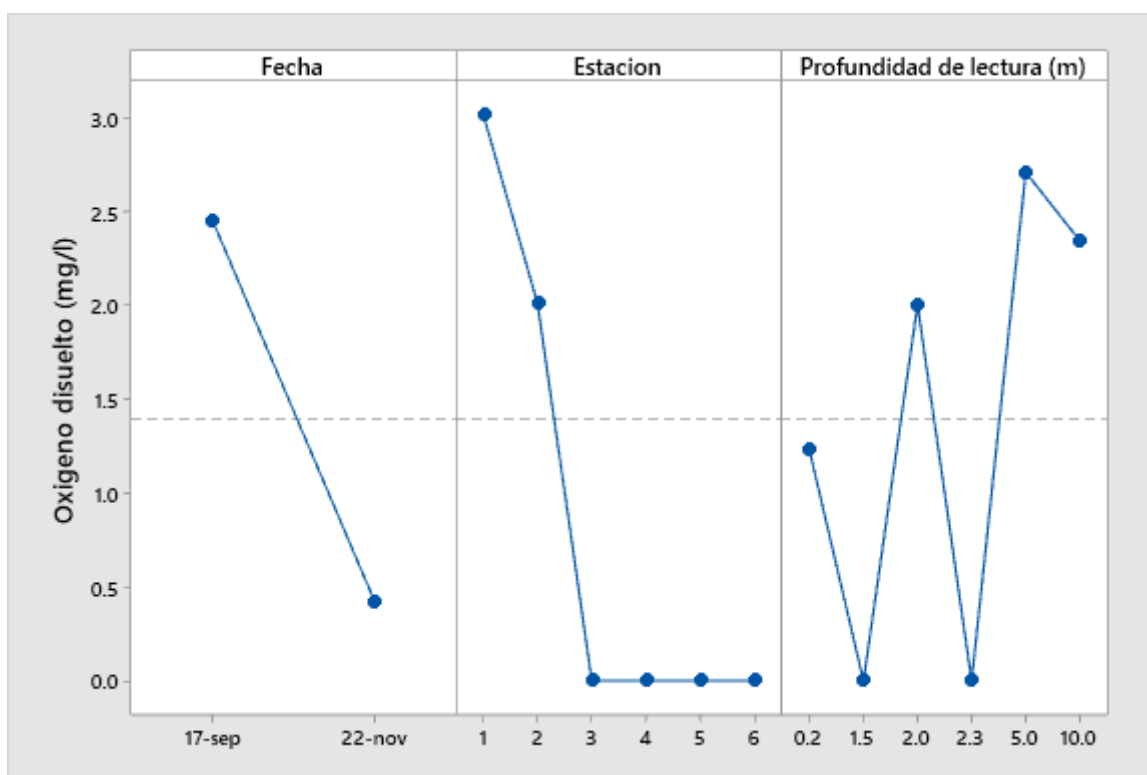
Los valores de oxígeno disuelto (mg/l) disminuyeron de septiembre a noviembre, donde la fecha de muestreo del primer mes fue un día soleado y se observó la presencia de biodiversidad de peces y reptiles (en su gran mayoría cocodrilos de la especie moreletti) a lo

largo del canal; y el segundo mes un día anterior y parte del día hubo presencia de norte, en ese mismo día se observó poca presencia de biodiversidad de peces, lo que indica que la radiación solar aumenta la mayor presencia de oxígeno disuelto haciendo que el comportamiento de los peces se ha en relación al oxígeno disuelto en el agua.

Para las estaciones también presentó diferencias significativas (ANOVA $F=3.66$, $P=0.023$), donde la prueba Tukey diferencia el río Tuxpan (estación 1) en el grupo A con media 3.021 mg/l y el estero de Tumilco (estación 4) en el grupo B con media de 0.000 mg/l. Las estaciones 2,3,5 y 6 presentan similitudes agrupadas en AB (Figura 14).

Figura 14

Media de OD (mg/l) en el Estero de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura.

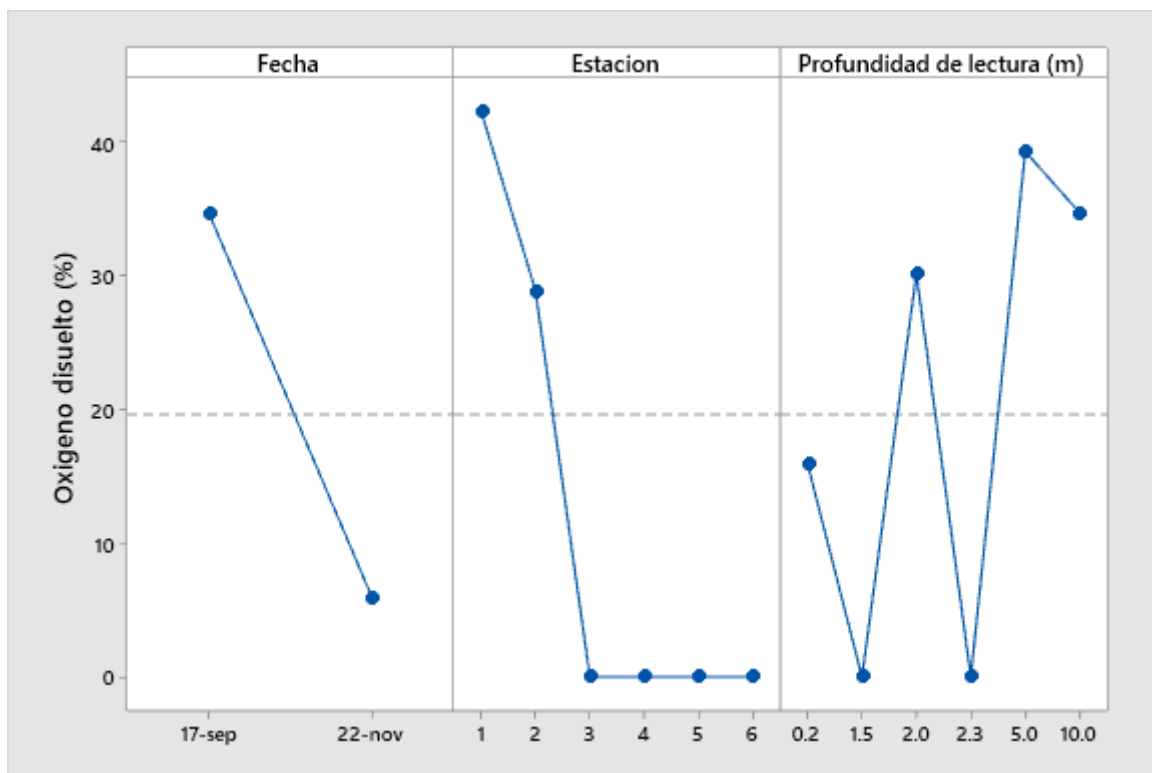


Oxígeno disuelto (%)

El oxígeno disuelto (%) presentó diferencias significativas entre fechas (ANOVA $F=8.36$, $P=0.009$), donde la prueba Tukey separa ambas fechas, septiembre en el grupo A con media de 34.69 % y noviembre en otro grupo B con media de 5.93 %.

Para las estaciones también presentó diferencias significativas (ANOVA $F=3.68$, $P=0.023$), donde la prueba Tukey diferencia al río Tuxpan (estación 1) en el grupo A con una media de 42.3% y el estero de Tumilco (estación 4) agrupado en otro grupo B con media de 0.000 %. Las demás estaciones 2,3,5 y 6 son las que presentan similitudes agrupadas en AB. El valor máximo se encontró en la estación 1 con OD 42.3 % y el mínimo en la estación 3-6 con 0.000 % (Figura 6).

Figura 6. Media de OD (%) en el Estero de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura.



Conductividad eléctrica

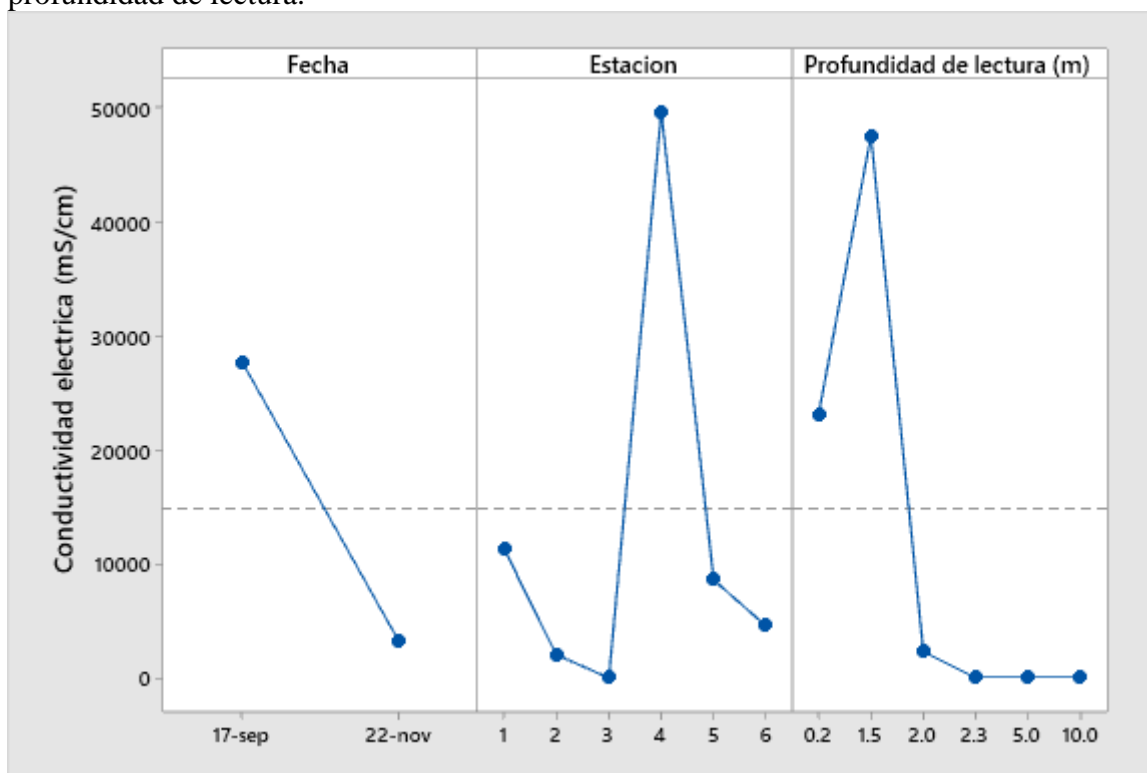
la conductividad eléctrica no presentó diferencias significativas entre las fechas (ANOVA $F=3.56$, $P=0.075$), la prueba Tukey agrupa las dos fechas en el grupo A con medias;

mes de septiembre 27747 y para el mes de noviembre 7173 ambas presentando similitudes entre sí.

Para las estaciones no arrojó diferencias significativas (ANOVA $F=1.38$, $P=0.287$), donde la prueba Tukey agrupa todas las estaciones en el grupo A, presentando similitudes entre ambas.

Figura 15

Media Conductividad eléctrica del Estero-canal de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura.



Salinidad

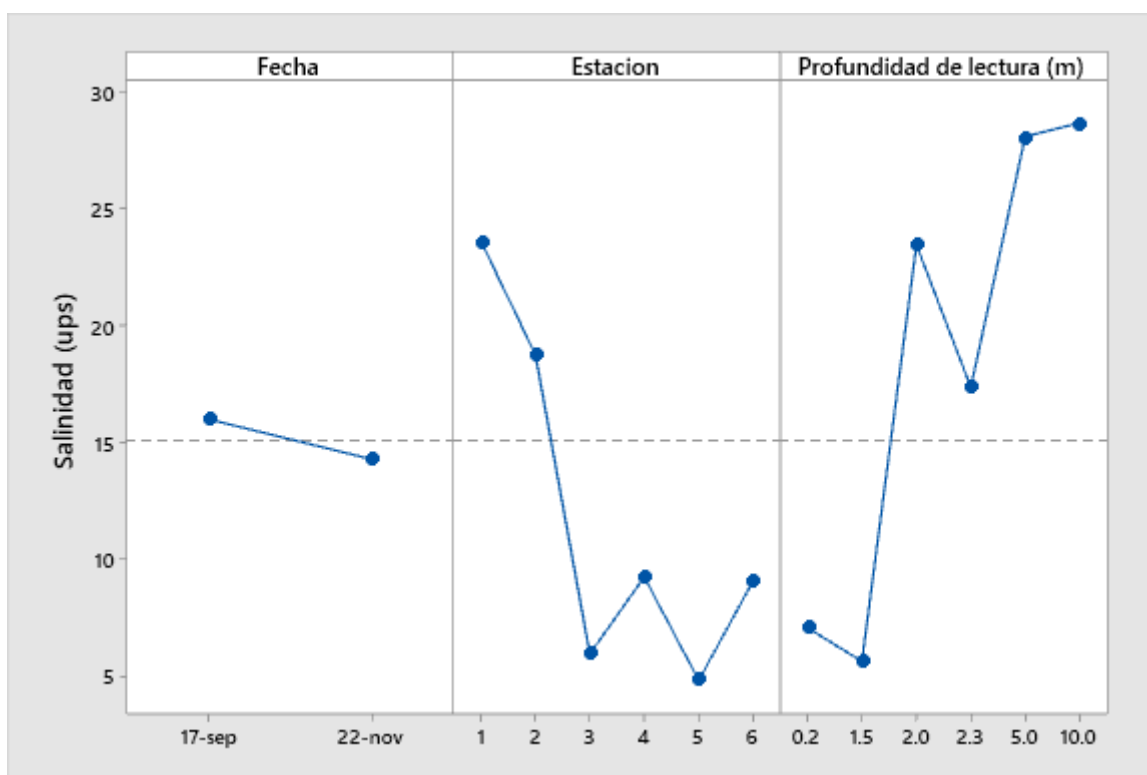
La salinidad no presentó diferencias significativas entre las fechas (ANOVA $F=0.739$, $P=0.11$), donde la prueba Tukey agrupa las dos fechas en el grupo A con medias; para el mes de septiembre 15.98 ups y para el mes de noviembre 14.26 ups ambas presentando similitudes entre sí.

Para las estaciones también no presentó diferencias significativas (ANOVA $F=2.42$, $P=0.084$), donde la prueba Tukey agrupa el río Tuxpan (estación 1) y todas las estaciones del Estero de Tumilco en el grupo A con una media grupal de 12.005 ups.

La salinidad del agua del río Tuxpan hasta llegar al canal de Tumilco se ve una ligera disminución y con respecto a la profundidad de lectura aumentó, lo que indica que hay corrientes submarinas con presencia de salinidad, en algunos puntos muestreo hemos identificado la isosalinidad hasta 1.2 m.

Figura 16

Media Salinidad del Estero-canal de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura.



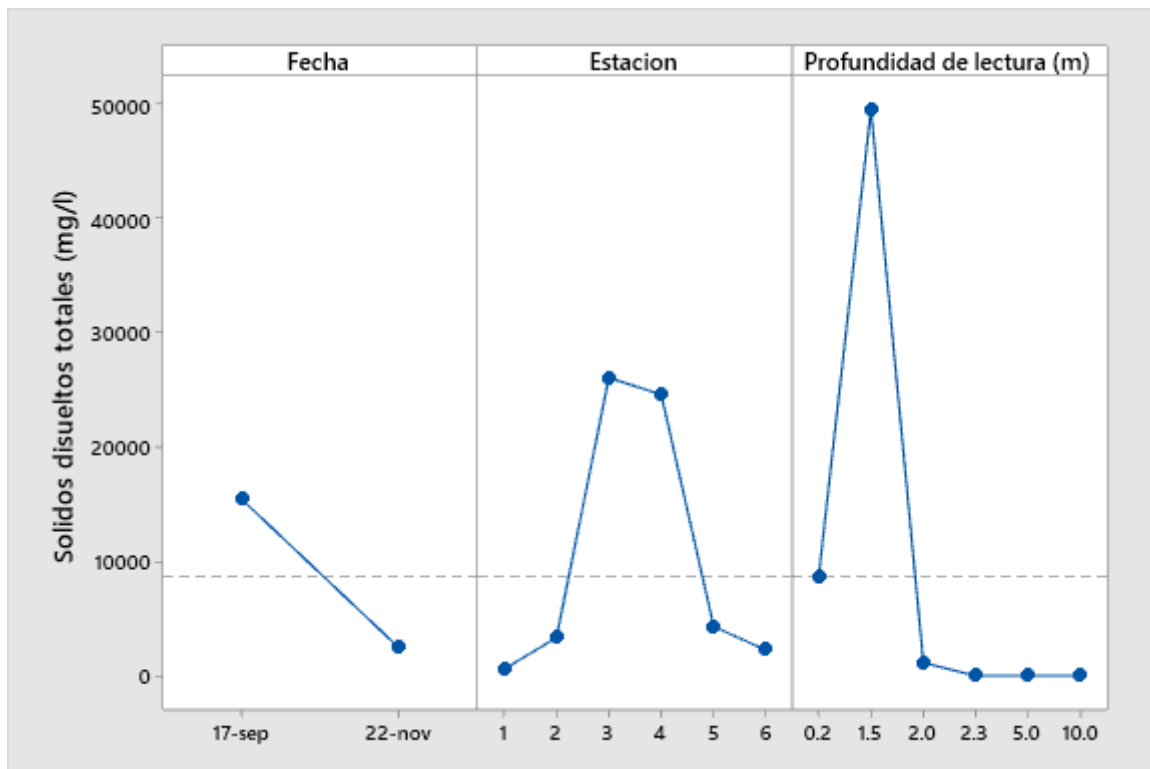
Tds

Los Sólidos Disueltos Totales (siglas en inglés TDS) entre fechas no presentó diferencias significativas (ANOVA $F=3.44$, $P=0.079$), donde la prueba Tukey organiza las dos fechas; septiembre (15439 mg/l) y noviembre (2436 mg/l) en el grupo A.

Para las estaciones no presentó diferencias significativas (ANOVA $F=2$, $P=0.137$), donde la prueba Tukey agrupa la estación 1 y las demás estaciones en el Estero de Tumilco en el grupo en A con media grupal. Las estaciones 2,3,5 y 6 en el grupo AB, son las que presentan similitudes entre ambas.

Figura 17

Media Sólidos disueltos totales del Estero-canal de Tumilco por fecha, estación y profundidad de lectura.



4.2 PROPUESTA DE PROYECTO

Después de evaluar el estado y las condiciones actuales que presenta el cuerpo de agua, se determinó la distancia total que requiere desazolve, así como los materiales y costos para la poda controlada de mangle.

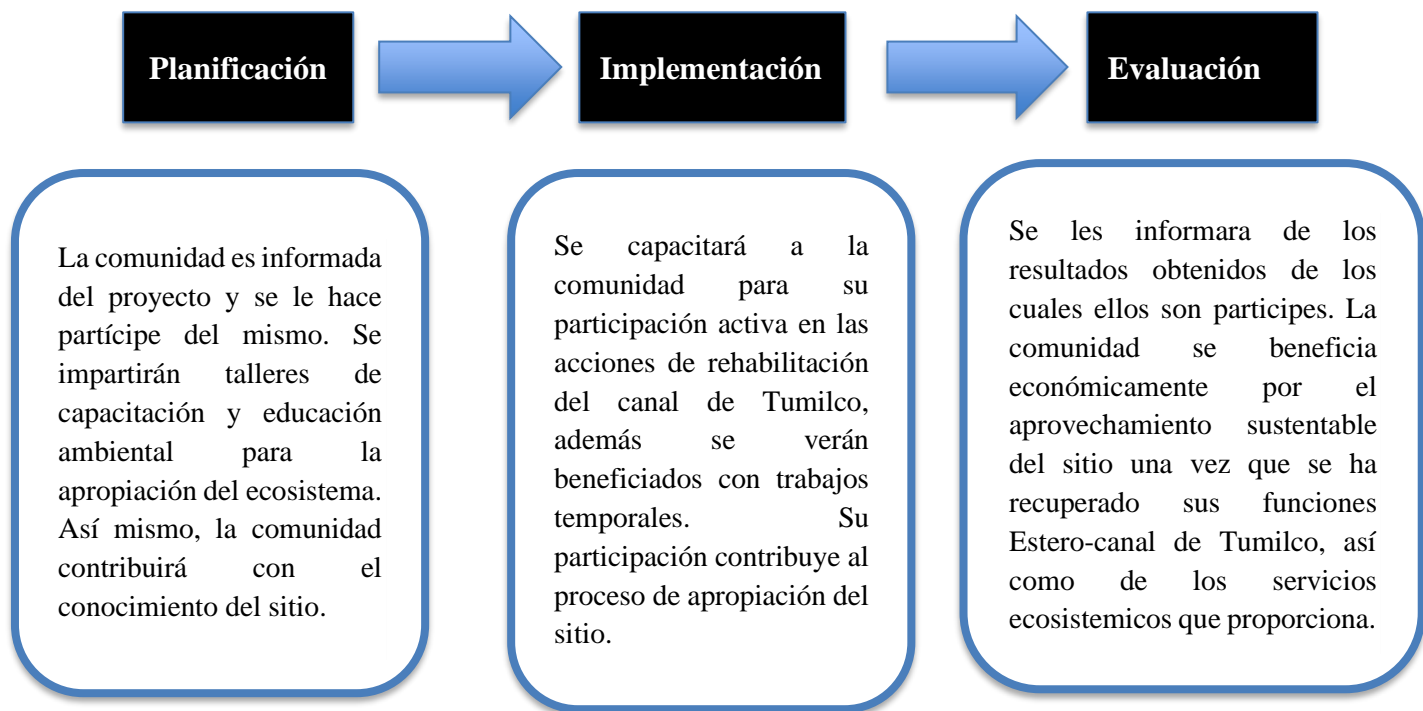
4.2.1. Beneficios socio-ambientales de la rehabilitación de la navegación en el canal de Tumilco

El azolvamiento y el rápido crecimiento vegetativo arbóreo sobre el canal en las últimas décadas ha ocasionado el cierre del estero de Tumilco e imposibilitado la navegación, los habitantes del ejido se han visto afectados económicamente por esta problemática ya que no cuentan con una vía de comunicación que permita la entrada y salida de visitantes y la comunidad, esto especialmente en época de lluvias cuando el camino tiende a inundarse.

La rehabilitación del canal de Tumilco constituye grandes beneficios ambientales, sociales económicos y ecológicos ya que al atenderse el problema de la azolvamiento y obstrucción vegetativa arbórea se activaría el ecoturismo mejorando los accesos para visitantes y locatarios, se fomentaría la educación ambiental, además de facilitar la realización de investigaciones con fines científicos en la zona.

4.2.2. Vinculación y socialización de la comunidad de Tumilco para la rehabilitación del canal

Es necesaria la participación de los actores sociales propietarios de los sitios donde se pretende implementar este proyecto. Bajo esquema de intervención comunitaria, deben de tener a los habitantes involucrados en los programas de rehabilitación del canal desde el inicio y que participen activamente tanto en la planeación como en la implementación técnica y evaluación de estas acciones. Este ejercicio participativo permitirá el empoderamiento social.



4.2.3. Implementación de acciones para la rehabilitación de la navegación del Estero-canal de Tumilco

Poda del manglar

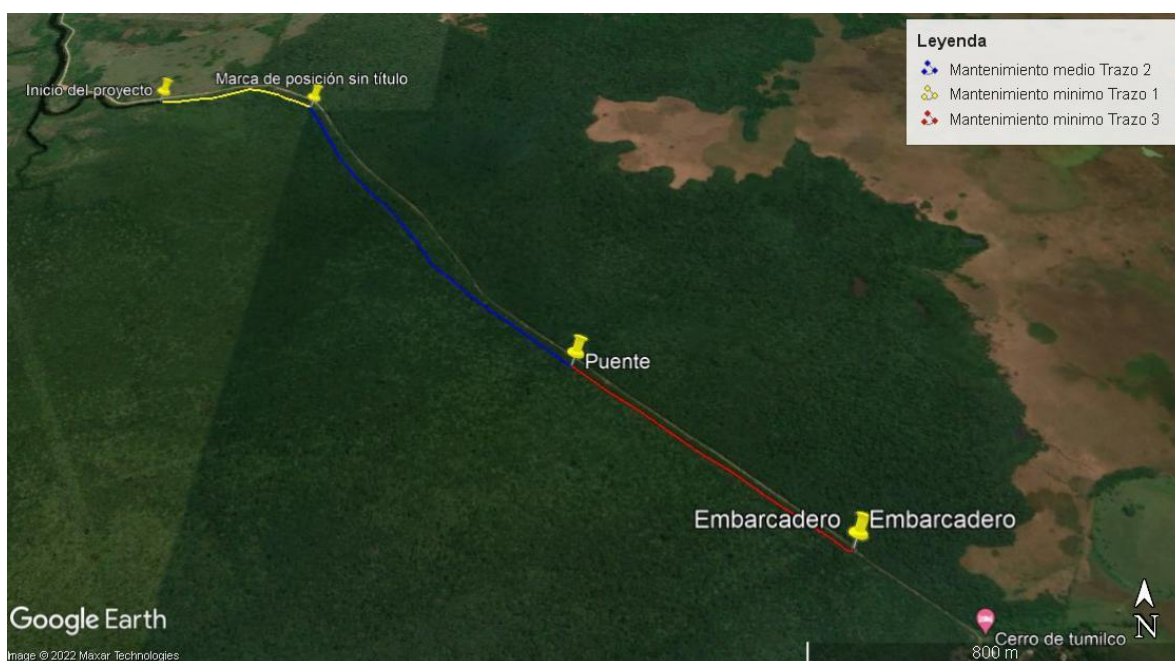
Se realizará una poda controlada del manglar sin afectar ningún ejemplar arbóreo, este debe mantener la estructura, su forma y apariencia siguiendo la normatividad.

La poda del manglar consiste en retirar las ramas vivas o muertas del manglar que dificulten el paso de embarcaciones, el mantenimiento se dará desde donde inicial el proyecto hasta el embarcadero con una longitud de 3078 m. La poda del manglar de dividirá en tres tramos, el primer punto se dará un mantenimiento mínimo, comienza desde el inicio del proyecto en la coordenada (20°55'52.62"N, 97°20'41.68"O) hasta la coordenada (20°55'51.34"N, 97°20'22.67"O) con una longitud de 592 m, el segundo tramo inicia desde donde termina el primer tramo hasta la coordenada 20°55'10.14"N, 97°19'49.60"O (cerca del puente) con una longitud 1600 m con una poda media, el tercer tramo comienza desde el puente hasta el embarcadero (20°54'51.44"N, 97°19'26.79"O) con un mantenimiento mínimo al igual que el

primer trazo. Se tiene contemplado que la poda del manglar por jornal será de 70 m lineales por el ancho del canal.

Las herramientas que se utilizaran son machete y tijera de poda, el resto vegetativo resultante del mantenimiento será trasladado en lancha, con una distancia de 2.5 km y se depositará en áreas de alto impacto de degradación dentro de la zona para que pueda continuar con su proceso de descomposición y contribuir a los almacenes de carbono, para su mejor aprovechamiento.

Figura 18. Mantenimiento del manglar



Tercera etapa

Desazolve del canal

Los manglares tienen canales naturales de flujos de agua, en ocasiones estos canales se obstruyen por el asolvamiento de arena en la línea de la costa o por troncos de manglar que caen sobre el canal, a causa de tormentas y otros fenómenos meteorológicos. Cuando desciende el flujo de agua, ocurre una sedimentación del canal que restringe la comunicación entre el humedal y el agua, se acumula suelo de un lado de la costa y del otro se pierde, provocando cambios en las propiedades del suelo y la pérdida del reflujos de agua. esto podría

afectar a las plantas de manglar ya que la degradación de estos ecosistemas se debe principalmente a la restricción del agua cuando ocurren cambios como menor frecuencia de inundación, mayor tiempo de inundación o mayor nivel de inundación. La rehabilitación tiene como objetivo recuperar la conexión hidrológica y mejorar las condiciones ambientales del ecosistema que se degradó. Las acciones que se realizan en primera instancia son el desazolve con el propósito de rehabilitar el canal y sea navegable para la comunidad.

El desazolve del canal consistirá en la remoción y extracción de sedimentos acumulados con la finalidad de mejorar el flujo del agua y recuperar la navegación. En esta actividad se utilizan herramientas manuales como palas, cubetas, machetes, extrayendo troncos y sedimentos con fines de evitar la acumulación de obstáculos que puedan bloquear el libre flujo del agua.

Para comenzar con las acciones de desazolve, se dragará de forma manual un área de 14,192 m², la parte azolvada del canal tiene una longitud de 887 m por 16 m de ancho aproximadamente dándole una dimensión con una profundidad de 1.2 m para que permita la navegación del canal de Tumilco desde el puente (20°55'11.0"N 97°19'49.1"W) hasta el embarcadero (20°54'51.4"N 97°19'26.9"W). La recuperación del canal generara empleo además de permitir la capacitación y la involucración de la comunidad en el proceso, se tiene contemplado que cada trabajador dragara 30m² en una jornada de 4 a 6 horas por jornal. Las personas utilizarán palas, cubetas, machetes, la mano de obra es realizada por ambos sexos: femenino y masculino. Las recomendaciones para el desazolve del canal es que las dimensiones sean las adecuadas para las embarcaciones que se tiene previsto que con el objetivo que busca la comunidad del ecoturismo. También se deberán remover los troncos que se encuentran en el fondo.

El suelo que es retirado del fondo se acomodará en zonas anegadas con poca influencia hidrológica y/o en áreas de mayor nivel topográfico esto tiene como finalidad mejorar el flujo del agua.

Figura. Zona de azolvamiento del canal de Tumilco



❖ Señalética de restricción de pesca

Se protegerá la vida ictiofaunística de la explotación en el Estero de Tumilco, no se permitirá la pesca con red, solo estará autorizado la pesca deportiva o artesanal. Se determinarán zonas de amortiguamiento donde no se permitirá ninguna clase de pesca, para eso se colocarán señalizaciones de (pictograma) pesca prohibida, esto con el fin de preservar y conservar las especies en zonas de manglar.

Figura 2. Ejemplo de señalización de pesca prohibida



CARACTERÍSTICAS DE LA INFRAESTRUCTURA DE ATRAQUE

La construcción de un muelle en la zona de embarcadero permitirá a la población de Tumilco atracar su embarcación al llegar al ejido, esta construcción también beneficiará a los prestadores de servicios turísticos al desembarcar a los turistas. El muelle se construirá con materiales de la región y su construcción no tendrá ningún impacto negativo, no afectará el flujo hidrológico ni modificará la paisajística natural.

La obra tendrá las siguientes características:

- a) Pilotes de madera dura (tronco de madera) como mínimo 10 cm de diámetro, pudiendo utilizarse árboles de la región como el chicozapote (*Manilkara zapota*), caracolillo (*Cedrela mexicana*), jabin (*Piscidia piscipula*), caoba (*Swietenia macrophylla*), encino (*Quercus oleodes*) y Pachira acuática (*Pachira aquatica*). Ninguna de estas especies se encuentra consideradas en la NOM-059-ECOL 2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Se recomienda este tipo de madera solo para los pilotes por su resistencia.
- b) Listones de madera 2x4 pulg. de 2 de largo
- c) Listones de madera 2x4 pulg de largo 3m
- d) Tablas de madera de 2.5 x 15 cm de 2m de largo
- e) barriles de plástico vacíos

Se construirá un muelle flotante el cual tendrá una dimensión de 3 m de largo por 2 m de ancho y estará anclado a los pilotes de madera. La plataforma para que flote tendrá 9 barriles y estarán sujetos con alambre o cuerda sobre las armellas que están atornilladas a la madera.

Figura 18

Ejemplo de un muelle flotante anclado a pilotes.



INFRAESTRUCTURA DE ESTANCIA

Se seleccionaron 4 puntos para la infraestructura de estancia de los cuales 2 son accesos al camino y 2 corresponden a lugares idóneos para la apreciación del paisaje.

Figura 19

Ubicación de puntos para el establecimiento de infraestructura de estancia.



Tabla 6

Coordenadas de ubicación de infraestructura de estancia propuesta.

Infraestructura de estancia	Coordenadas
Acceso al camino 1	Latitud 20.932038° Longitud -97.342086°
Acceso al camino 2	Latitud 20.931797° Longitud -97.341171°
Paisaje 1	Latitud 20.931406° Longitud -97.343922°
Paisaje 2	Latitud 20.931797° Longitud -97.341171°

Accesos al camino

Se propone la colocación de bancas y mesas para los visitantes que gusten bajar antes de llegar al ejido.

Figura 20

Ejemplo de modelo de bancas propuesto para la colocación en los accesos al camino.



Nota: Obtenido de: https://www.manufacturasdeportivas.com/catalogo/mobiliario_urbano/mesas_%3Cbr%3E_para_parques/57/

Tabla 21

Presupuesto requerido para la infraestructura de estancia propuesta

Bancas tipo jardín

Concepto	Valor Unitario	Cantidad	Total
Polines de 4x4x8	320	4	1,280
Polines de 4x4x10	440	2	880
Tablones de madera 1 1/2x6x8	300	18	5,400
Pijas de 3"	100	2	200
Resistol Blanco	110	2	220
Barniz	230	2	460
Lija	7	10	70
Mano de obra	172.87	16	2,765.92
Taller			5,000
SUBTOTAL			16, 275.92

INFRAESTRUCTURA PARA LOS PRESTADORES DE SERVICIO

Tienda para venta de artesanías de la comunidad de Tumilco (diseño en forma de palapa)

Con la implementación del presente proyecto se pretende rehabilitar el canal estero de Tumilco para mejorar las condiciones de los pobladores ante la falta de una vía de comunicación en épocas de lluvia debido al azolve, esto contribuirá también a los servicios ecoturísticos ofrecidos por lo que se recomienda considerar la mejora de la infraestructura del ejido (cabañas, kayaks, etc.) a continuación se propone la implementación de una tienda de artesanías.

Las microempresas de artesanías son una actividad importante en diversas zonas del país y del mundo. En América latina en particular la artesanía constituye una importancia socioeconómica en las formas de vida y producción tradicionales en muchas comunidades (rivera y Hernández, 2018).

Ejemplo de infraestructura propuesta para los prestadores de servicio



Concepto	Valor unitario	Cantidad	Total
Madera 5cmx5cmx300cm	400	56	22400
Mecate	69.50	4	278
Total			22678

SECCIÓN DE RESTAURACIÓN

- ✓ **Restauración ribereña en la zona de potrero**, en los polígonos señalados en el mapa (Figura 17) en estas zonas degradadas desprovista de cobertura vegetal a causa de actividades agropecuarias, escorrentías y lixiviados de agroquímicos procedentes de zonas dedicadas a la ganadería y agricultura se recomienda que se lleve a cabo acciones de restauración para evitar la erosión del suelo. Algunas de las soluciones recomendadas serían que se prohíba las actividades agropecuarias en la zona altas o se lleve acciones de trasplante de plántulas de mangle establecidas en terrenos inundados con oleaje y mareas.

✓ Acondicionamiento y protección de asoleaderos de lagartos.

En esta zona donde se propone la restauración del manglar, también se recomienda la protección asoleaderos de cocodrilos. Los cocodrilos moreletti se distribuyen en todo el cauce del estero Tumilco, se encuentran más a menudo en las zonas donde la vegetación ha sido modificada para la extensión de cultivos y zonas ganaderas (Jiménez, 2013). Las acciones de restauración para estas zonas no es el objetivo principal para este estudio. Solo se recomienda para llevar a cabo acciones de protección y conservación en un futuro.

Figura 17. Sección de restauración



Residuos a generarse durante la ejecución del proyecto

a) Residuos sólidos urbanos

Están relacionados con residuos de comidas o bebidas que podrían llegar a generarse durante las actividades de preparación del sitio; sin embargo, considerando que sólo 18 personas estarán trabajando en esta etapa, y de acuerdo a los datos de INEGI 2020 una persona al día genera 1.2 kg; y se asume que el volumen de estos residuos será bajo, alrededor de 216 kg a

la semana. En la siguiente tabla se presenta un listado de los residuos sólidos urbanos que podrían generarse potencialmente y que tendrán un plan de almacenamiento temporal.

Tabla 9

Residuos sólidos urbanos generados

SÓLIDOS URBANOS

TIPO DE RESIDUO	FUENTE
Papel y cartón	Consumo de alimentos
Vidrio (botellas, envases, etc.)	Consumo de alimentos y bebidas
Plástico (botellas, envases, PET, bolsas, etc.)	Consumo de alimentos y bebidas
Latas (botellas, envases etc.)	Consumo de alimentos y bebidas

Estos residuos generados se incorporan al relleno sanitario municipal de Tuxpan Veracruz a través del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos y estará a cargo una persona para su gestión.

b) Residuos vegetales

Estos residuos serán generados durante la poda controlada del manglar a lo largo de la zona azolvada.

Tabla 10

Residuos vegetales generados

RESIDUOS VEGETALES

TIPO DE RESIDUO	FUENTE
Ramas	Mangle
Madera	Mangle

Aguas residuales y residuos sanitarios

Se engloban dentro de esta categoría de residuos líquidos, aquellas aguas residuales que se generarán en los sanitarios portátiles que se instalarán al servicio de los trabajadores, así como el papel sanitario usado. Durante el proyecto se instalarán 3 sanitarios portátiles y los residuos sanitarios se integrarán al sistema de alcantarillado municipal. El papel usado se incorporará al sistema de residuos sólidos urbanos.

a) Residuos generados durante el azolve del canal

Estos residuos serán generados durante el dragado del canal. De igual manera se producirán, durante los trabajos de construcción de la estructura del muelle. En la siguiente tabla se enlistan los posibles residuos a generar que se engloban en este rubro.

Tabla 11

Tipo de residuo generados durante la ejecución del proyecto.

OTROS RESIDUOS

TIPO DE RESIDUO	FUENTE
Solidos sedimentario	Dragado del canal
Materia orgánica	Desmante del manglar
Restos de madera	Durante el armado de la estructura del muelle

Estimación de costos

En este apartado se detallarán todos los costos y los materiales requeridos para usarse en cada etapa del proyecto al igual al igual el salario del personal a emplearse para actividades de rehabilitación del canal de Tumilco.

Tabla 12

Lista de materiales requeridos para la poda y desazolve del canal

Unidad	Concepto	Precio unitario (\$)	Duración	Costo (\$)
12	Machete	105		1260
12	Cubetas vacías	80		960

16	Palas	150		2,400
4	Renta de lanchas	400	5 días	8,000
80	Gasolina	20	5 días	8,000
8	Azadones	269		2,152
Subtotal				22,772

Tabla 13

Lista de materiales para la construcción del muelle

Unidad	Materiales	Precio unitario (\$)	Costo (\$)
6	Pilotes de madera 10 cm de diámetro y 2.60 m	1000	3,000
2	Listones de madera 2 x 4 pulg de 2 m de largo	400	800
3	Listones de madera 2 x 4 pulg. De 3 metros de largo.	400	1,200

20	Tablas de madera 2.5 x 15 cm de 1.8 de largo	180	3,600
1	Taladro o destornillador	439	439
9	Barril de plástico de 200 l	700	6,300
2	Martillo	150	300
2	Masilla de silicona	150	300
21	Armellas	15	315
2kg	Tornillos y clavos galvanizados	150	300
Subtotal			\$ 16,554

Tabla 14

Mano de obra para la construcción del muelle

Recursos humanos	Salario (\$)	Duración (días)	Costo total (\$)
------------------	--------------	-----------------	------------------

4	200	3	2,400
---	-----	---	-------

Tabla 14

Salario general

Recursos humanos	Puesto	Salario diario (\$)	Salario total (\$)
17	Jornaleros	200	102,000
1	Paramédico	300	6,000
1	Gestor de residuos	300	6,000
Subtotal			\$114,000

Tabla 15

Presupuesto total para el proyecto

Concepto	Costo (\$)
Poda y dragado del canal	22,772
Construcción del muelle	16,554

Salario construcción del muelle	2,400
Infraestructura de prestadores de servicio	22678
Infraestructura de estancia	16,275.92
Salario	114,000
Total	\$456,815

Las lagunas costeras y esteros son de gran importancia por sus funciones ecológicas, económicas y/o sociales, sin embargo, estas enfrentan una serie de alteraciones, entre las que destacan el azolvamiento, cambios en el patrón hidrológico, hipersalinidad, eutrofización y contaminación por plaguicidas (Flores *et al.* 2007 El azolvamiento, definido como el proceso mediante el cual los sólidos acarreados por las corrientes fluviales se depositan dentro de un cuerpo de agua y originan una pérdida de volumen útil (Rocha 2006), trae consigo consecuencias tales como la pérdida de profundidad y navegabilidad, disminución del oxígeno disuelto, daños al turismo y a la economía local entre otros (Tovilla 2005). Otro problema sería las obstrucciones por manglar en canales navegables debido al rápido crecimiento. En el estudio realizado en el canal de Tumilco se determinó que el área azolvada se encuentra desde el puente (vado de Tumilco) hasta el embarcadero, con profundidades de 1.18 m hasta descender a 0.76 m, con las profundidades máximas y mínimas permite considerar como un problema mínimo de azolvamiento, que solo permite el paso de embarcaciones menores, no usadas para turismo.

El tipo de textura encontrada a las orillas del canal en la parte azolvada fue franco arcilloso, el mismo resultado que obtuvo (Jiménez, 2012) en un estudio de suelo en el manglar de Tumilco. Además, se obtuvieron otras texturas como parte de sedimentos franco arcilloso arenoso y arcilloso arenoso.

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes de calidad del agua que refleja, en general, la salud de los sistemas acuáticos. Aguas con niveles de OD mayores a 4 mg/L son consideradas aceptables para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos (Sardiñas *et al.*, 2006; Torres, 2009). Un estudio realizado por Martínez (2013), en los humedales herbáceos de Tumulco, Veracruz, reportó rangos de concentración de OD menores a 3.5 mg/L y (Cupil,2015) registró valores de oxígeno disuelto que fluctuaron entre 0.2 y 2.7 mg/L en agua superficial del popal y tular de Tumulco. En este estudio sobre el estero-canal de Tumulco se obtuvieron valores de oxígeno disuelto entre 2.5 y 0 mg/L, en ambos casos de estudios los valores obtenidos se encuentran por debajo de los niveles aceptables para la vida acuática, en comparación a los valores encontrados son críticos; en los humedales herbáceos es normal encontrar bajas concentraciones de OD durante el tiempo que permanecen inundados (Torres *et al.*, 2013); lo anterior, por la mayor demanda microbiana de oxígeno que surge de la acumulación de material biodegradable y por un lento flujo de agua que limita la capacidad de intercambio gaseoso con el aire (Lampert y Sommer 1997).

La salinidad es una variable de carácter fundamental en los ecosistemas de humedales, en el estudio en la localidad de Tumulco (Cupil,2015) presentó un valor de 0.25 a 1.69 ups y Martínez (2013) registró también concentraciones bajas de 0.1 a 1.1 ups para la misma localidad ambos estudios evaluaron los ecosistemas de popal y tular. El valor de salinidad para este estudio (4.8-23 ups) fue mayor a lo reportado en los dos estudios antes mencionados. Todos los valores registrados para los humedales de Tumulco estuvieron en concentraciones relativamente bajas ya que el agua presente es dulce, mientras que los humedales de Tembladeras su aporte de agua proviene de un ámbito continental, por lo cual las concentraciones de salinidad para estos ecosistemas son marcadamente superiores.

PROYECTO Y PROPUESTA

La propuesta técnica para la rehabilitación del canal consiste en dragar de forma manual y los sedimentos se depositarán en zonas de baja influencia hidrológica, para el mantenimiento del manglar se aplicaría poda controlada, los restos vegetativos destinarlos para zonas degradadas, con estas acciones se restablecerá el flujo hidrológico y también el turismo. El tipo de infraestructura que se propone en esta propuesta es de estancia en donde se abrirá dos

accesos al canal y se colocaran una banca, segundo una plataforma para fotografía y un muelle de atraque, el cual será flotante y no tendrá un impacto negativo al ecosistema, se construirá con materiales de la región, también se propone.

Por último, es importante señalar que el puerto de Tuxpan es ahora el más cercano a la capital y centro del país, por lo que se espera que con la rehabilitación del canal de Tumilco donde se restablezca el flujo hidrológico y la navegación detonando el ecoturismo, lo cual puede ser aprovechado para promover el desarrollo social y económico del lugar.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a los datos morfométricos obtenidos en la presente investigación, el canal estero de Tumilco es navegable, sin embargo, este se encuentra parcialmente obstruido por las ramas del manglar que se extienden sobre la superficie del canal, lo que dificulta el paso de embarcaciones menores, por lo que se recomienda llevar a cabo una poda controlada del mismo acuerdo a lo estipulado en la NOM- 022-SEMARNAT-2000.

Se determinó que el canal de Tumilco no presenta alto grado de azolvamiento, lo que permite la entrada de embarcaciones menores con remo, para la entrada de lanchas turísticas es necesario un desazolve de 30 cm de profundidad.

En la presente investigación se encontró que el suelo del canal estero de Tumilco es franco arcilloso, este se caracteriza por tener deficiencia de nutrientes, el mayor aporte de materia orgánica proviene de la vegetación de manglar.

Durante los recorridos no se logró medir el caudal del estero debido a que no se detectó movimiento del flujo hidrológico en la superficie ni en la profundidad media, esto se debe principalmente a que se trata de un sistema estuarino parcialmente cerrado. Respecto a la salinidad el estero se caracteriza por tener una mayor concentración en un rango medio de 4.8-23 ups.

Los valores bajos de oxígeno disuelto obtenidos en el Estero-canal de Tumilco reflejan evidencia de alta eutrofización que como producto de la respiración. Los valores críticos de hipoxia ponen en riesgo el desarrollo de la vida acuática.

La poda controlada y el dragado manual requerido para la rehabilitación de la navegación, no representan ningún riesgo al medio ambiente, por el contrario, se ve beneficiado el sistema al mantener el régimen hídrico actual y la influencia marina que ingresa por este estero, así también el uso de embarcaciones puede contribuir a mejorar la cantidad de oxígeno presente en la columna de agua, beneficiando a los organismos acuáticos. También se muestra como un sitio que puede ser de gran relevancia en cuestiones de educación ambiental, beneficio económico local, turismo ecológico y estudios científicos en torno al bosque de manglar de Tumulco.

BIBLIOGRAFÍA

- Arguelles, J., & de la Cruz Francisco, V. (2020). Estructura de la comunidad ictiofaunística del estero de Tumulco, Tuxpan, Veracruz, México. 5, 22-30.
- Basañes, A., Olmedo, G., & MENCIO, P. (2006). Structural characteristics and uses of Mangrove in Cerro de Tumulco, Veracruz, Mexico. Revista Científica UDO Agrícola, 6.

- Basañez, M. A. J. 2005. *Ficha informativa de los humedales de Ramsar*. Manglares y Humedales de Tuxpan, Sitio Ramsar Internacional 1602. (Fecha de consulta: 09 de octubre de 2011).
- Bojorges-Baños, J. C. 2011. *Riqueza y diversidad de especies de aves asociadas a manglar entre sistemas lagunares en la región costera de Oaxaca*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 205-2115.
- Carbajal-Evaristo, S., Hernández, C., Díaz-Gallegos, J., Mata, D., & Acosta-Velázquez, J. (2012). Evaluación del impacto del azolvamiento en la Laguna Cerritos como consecuencia de la canalización del río Cintalapa, Chiapas. (pp. 253-264).
- Carbajal-Evaristo, S., Hernández, C., Díaz-Gallegos, J., Mata, D., & Acosta-Velázquez, J. (2015). Evaluación del impacto del azolvamiento en la Laguna Cerritos como consecuencia de la canalización del río Cintalapa, Chiapas. (pp. 253-264).
- Cartaya, S., & Méndez Mata, W. (2002). Modelo geomorfológico de un estuario tropical caribeño, estado Falcón—Venezuela. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2564.1126>
- Castro-Castro, V., Siu-Rodas, Y., González-Huerta, L. V., & Y. Sokolov, M. (2005). Efecto tóxico de DDT y endosulfan en postlarvas de camarón blanco, *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) de Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 53(1-2), 141-151.
- CONABIO. 2007. *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. Ficha de caracterización. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, México. 12 pp
- Cuarto, T., & Méndez, C. E. (2018, febrero 7). TABLA MUNSELL: TEORÍA Y PRÁCTICA. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10998.65602>
- Cupil, D. A. 2015. Calidad del agua mediante el análisis fisicoquímico, demanda bioquímica y química de oxígeno en los humedales de Tumulco, Veracruz, México. Tesis de especialidad. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz. México.
- Fernández, S., & Álvarez-Marrón, J. (2012). Tasas medias de denudación, morfometría e hipsometría en cuencas costeras del Norte de España. 3.
- Flores VF, Agraz H, Benítez PD (2007) *Perspectivas Sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat), México, D. F. 147-165 pp.
- How to Build a Floating Platform: A Complete Guide. (2020, abril 20). Hiseadock. <https://www.hiseadock.com/how-to-build-floating-platform/>

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001. *Tuxpan, estado de Veracruz. Cuaderno estadístico municipal. Gobierno del estado de Veracruz e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*. México, D. F. 180 pp.
- Jiménez, M. B. (2017). “Estructura del mangle y la asociación con características fisicoquímicas de agua y suelo en Tumulco, Mpio. de Tuxpan, Ver.”[Universidad Veracruzana, Tesis de Maestría]. Repositorio institucional.
- Koning, C. O. (2004). IMPACTS OF SMALL AMOUNTS OF SANDY SEDIMENT ON WETLAND SOILS AND VEGETATION: RESULTS FROM FIELD AND GREENHOUSE STUDIES. *Wetlands*, 24(2), 295-308. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2004\)024\[0295:IOSAOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2004)024[0295:IOSAOS]2.0.CO;2)
- Kumar, A., B. D., & Jayappa, K. S. (2014). Basin geomorphology and drainage morphometry parameters used as indicators for groundwater prospect: Insight from geographical information system (GIS) technique. *J. Earth Sci.*, 25, 1018-1032. <https://doi.org/10.1007/s12583-014-0505-8>
- Lampert, W y Sommer, U. (1997). *Limn ecology: The ecology of lakes and streams*. Oxford University Press, Nueva York, EUA. 382 pp
- Lux Cardona, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Martínez, P. R. (2013). *Características fisicoquímicas del agua superficial y del manto freático en los Humedales de Tumulco, Tuxpan Veracruz. Tesis que 49 para obtener el Título de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Región Poza Rica-Tuxpan. Universidad Veracruzana. 27 pp.*
- Mikhailova, M. (2015). Morphometry of River Deltas. *Water Resources*, 42, 52-62. <https://doi.org/10.1134/S009780781501008X>
- Miththapala, S. (2013). *Lagoons and Estuaries*. 4, 84.
- Movilian, C., & Craft, C. B. (2021). *Wetland Soils: Physical and Chemical Properties and Biogeochemical Processes—ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128191668000499>
- Murillo Sánchez, M., Lozano-García, D., Cobián, V. H., & Puente, M. (2003). *Estudio del efecto del cambio de uso de suelo en el escurrimiento en la Subcuenca 24Bf «Monterrey» aplicando un Sistema de Información Geográfica*.

- Olsen, S. B., Padma, T. V., & Richter, B. D. (s. f.). *Managing Freshwater Inflows to Estuaries: A Methods Guide*. 52.
- Pothiraj, P., & Baskaran, R. (2013). Drainage Morphometry of Upper Vaigai River Sub-basin, Western Ghats, South India Using Remote Sensing and GIS. *Journal of the Geological Society of India*, 82. <https://doi.org/10.1007/s12594-013-0183-7>
- Reyes Trujillo, A. U. B. (s. f.). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. Recuperado 17 de enero de 2022, de <https://www.digitaliapublishing.com/a/39137/guia-basica-para-la-caracterizacion-morfometrica-de-cuencas-hidrograficas>
- Rocha FA (2006) La Problemática de la Sedimentación de Embalses en el Aprovechamiento de los Ríos Peruanos, Aplicada al Embalse de Poechos. Conferencia en: *Memorias del Primer Congreso Internacional de Hidráulica, Hidrología, Saneamiento y Medio Ambiente*. Instituto de la Construcción y Gerencia. 31 pp.
- Rossalino-Jiménez, M. B. 2012. Caracterización física y química del suelo en los humedales de Tumulco, municipio de Tuxpan, Veracruz. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz. México
- Rueda, L., Botello, A. V., & Diaz, G. (1997). Presencia de plaguicidas organoclorados en dos sistemas lagunares del estado de Chiapas, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 13(2), 55-61.
- Samarakoon, J., & Samarawickrama, S. (2012). An appraisal of challenges in the sustainable management of the micro-tidal barrier-built estuaries and lagoons in Sri Lanka. IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/10198>
- Sardiñas, P. O., Chiroles, R. S., Fernández, N. M., Hernández, R. Y y Pérez, C.A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 6. 202-206 pp.
- Serrano, A., Vázquez-Castán, L., Ramos-Ramos, M., Basáñez-Muñoz, A. de J., & Naval-Ávila, C. (2013a). Diversidad y abundancia de aves en un humedal del norte de Veracruz, México. *Acta zoológica mexicana*, 29(3), 473-485.
- Serrano, A., Vázquez-Castán, L., Ramos-Ramos, M., Basáñez-Muñoz, A. de J., & Naval-Ávila, C. (2013b). Diversidad y abundancia de aves en un humedal del norte de Veracruz, México. *Acta zoológica mexicana*, 29(3), 473-485.

- Somohano Gamboa, R. E., Castro Castro, V., & Sokolov Muratov, M. Y. (2009). Influencia urbana en la calidad del agua y riesgo ambiental por coliformes fecales, en un río del Trópico Mexicano. Universidad Autónoma de Chiapas, Centro de Biociencias.
- Strahler, A. H., & Strahler, A. N. (1994). *Introducing Physical Geography: Laboratory Manual*. Wiley.
- Torres, R., Lugo, C., Gordon y Suarez, L. V. (2013). Descomposición foliar in situ de heliconia marginata en un humedal herbáceo (Barlovento, Venezuela). México. *Revista Polibotanica*: 35. 21-40 pp
- Tovilla HC (2005) Agonía y Desaparición de los Ríos y Humedales en la Costa de Chiapas. *Ecofronteras*. 25: 5-8 pp.
- Wall, D. (2004). Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments. *The Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE)*. Scope 64.
- Walling, D. E. (2005a). Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of The Total Environment*, 344(1-3), 159-184. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.011>
- Walling, D. E. (2005b). Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of The Total Environment*, 344(1-3), 159-184. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.011>
- Werner, K. J., & Zedler, J. B. (2002). How sedge meadow soils, microtopography, and vegetation respond to sedimentation. En *Wetlands* (Vol. 22, Número 3, p. 16).